



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY  
DENMARK

## Multidynamisk konstruktion af vejkryds

Kjems, Erik

*Publication date:*  
1994

*Document Version*  
Tidlig version også kaldet pre-print

[Link to publication from Aalborg University](#)

*Citation for published version (APA):*

Kjems, E. (1994). *Multidynamisk konstruktion af vejkryds*. Institut for Samfundsudvikling og Planlægning, Aalborg Universitet. ISP-Skriftserie Nr. nr. 130

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

### Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at [vbn@aub.aau.dk](mailto:vbn@aub.aau.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Erik Kjems

# Multidynamisk konstruktion af vejkryds



# Forord

Denne afhandling er skrevet i forbindelse med et Ph.D.-studium i perioden sep. 1991 til juni 1994. Studiet er udført på Aalborg Universitet med tilknytning til trafikforskningsgruppen (TRG) under Instituttet for Samfundsudvikling og Planlægning.

Studiet tog udgangspunkt i geometrisk vejprojektering på edb, og udviklede sig til en ny designmetode i et CAD-anlæg. Designmetoden er udviklet på baggrund af projekteringen af et vejkryds, og er implementeret som programmodul i et kommercielt CAD-system til vejprojektering, dvs. det norsk udviklede NovaCAD. Dette programmodul benævnes i denne afhandling som MIK, hvilket står for Multidynamisk, Intelligent Krydskonstruktion.

Afhandlingen falder i tre naturlige dele. Kapitlerne 1-4 beskriver designmetoden og denne benyttet til krydsprojekteringen. Kapitel 5 indeholder en detaljeret beskrivelse af den beregningstekniske del af selve krydsprojekteringssystemet. De sidste kapitler beskriver samlet en vurdering af designmetoden, systemet og afhandlingen som sådan. Sidst i denne afhandling findes tre appendices. Disse er placeret her, fordi indholdet ikke umiddelbart er væsentligt for den udviklede designmetode, men har været retningsgivende i afhandlingens begyndelse. Indholdet i denne afhandling er delvist præget af afsnit, som fremstår som meget aktuelle. Denne aktualitet skal dog ses i forhold til dateringen af dette forord.

Henvisninger til kilder sker ved /navn, år/, hvor navn henviser til forfatterens navn, som genfindes i litteraturhenvisningen, og år til det år den pågældende kilde er udgivet. Andre former for henvisninger fremgår af fodnoter på den aktuelle side.

Jeg vil her benytte lejligheden til at sige tak til Finn Zetterstrøm og Ole Christian Eidhammer fra firmaet ViaNova i Oslo for de inspirerende samtaler og ikke mindst det konstruktive samarbejde omkring edb-udviklingen.

Aalborg Universitet  
Institut for Samfundsudvikling og Planlægning  
Juli 1994

Erik Kjems



# Indholdsfortegnelse

Forord	
Indholdsfortegnelse	
Introduktion	7
Summary	11
1. Indledning	13
1.1    Projektformulering	14
1.2    Projektafgrænsning	17
2. Krydsprojektering	21
2.1    Forudsætninger	22
2.2    Manuel projektering	24
2.3    Projektering med edb	28
2.4    Diskussion af projekteringsmetoderne	32
2.5    Teoretiske definitioner	33
3. Multidynamisk design	43
3.1    Designfilosofi	44
3.2    Designmetodens præmisser	56
4. MIK-Programbeskrivelse	61
4.1    Forudsætninger	62
4.2    Principper for opbygningen af MIK	70
4.3    Funktionshensyn	75
4.4    Multidynamiske funktioner	80
4.5    Afhængigheden mellem krydsets enkelte dele	90
5. Programdokumentation	95
5.1    Beskrivelse af værktøjskassen	98
5.2    Tilslutningskanten	103
5.3    Sekundærhellen	113
5.4    Primærvejen	138
5.5    Generelle funktioner	154

6. Vurdering af MIK .....	161
6.1 Traditionel contra dynamisk design.....	163
6.2 3D-håndtering .....	164
6.3 Funktionskravende og de danske Vejregler.....	170
7. Fremtiden .....	175
7.1 Edb-teknologien .....	176
7.2 Fremtiden for CAD .....	178
7.3 Fremtiden for MIK .....	180
8. Konklusion .....	185
Litteraturliste .....	191
 A. Systemudvikling .....	195
A2. Brugeren i centrum .....	204
A3. Udviklingsmodellen .....	209
A4. Kravspecifikation for MIK .....	211
 B. Edb-systemet .....	219
B1. Valg af edb-grundsystem .....	219
B2. Systemkonfiguration.....	224
 C. Artikler .....	227
C1. Vejprojektering i fremtiden.....	228
C2. Multidynamisk konstruktion af vejkryds .....	230

# Introduktion

Det følgende er en kort introduktion af afhandlingens indhold. Hovedpunkterne i afhandlingen er her kort berørt, men ikke uddybet.

## Problemstilling

Edb-brugen har igennem de sidste årtier opfyldt et behov for rationalisering i et samfund i stadig økonomisk og teknologisk udvikling. Divergerende behov i de forskellige sektorer har medført en mangfoldighed af edb-udstyr og programmer, som man få år tidligere ikke turde spå om. Indenfor vejsektoren har denne udvikling ligeledes sat sine spor i forbindelse med infrastrukturplanlægning og vejprojektering. I afhandlingen tages udgangspunkt i projekteringen af et vejkryds. Mere præcist udtrykt drejer det sig om et kanaliseringsanlæg i forbindelse med trebenede vejkryds. I princippet bliver vejkrydset benyttet som en case i forbindelse med udviklingen af en ny designmetode, som kaldes for "multidynamisk".

## Projektering af vejkryds

Afhandlingen beskriver således, hvordan et kanaliseringsanlæg projekteres i henhold til de traditionelle projekteringsmetoder angivet i de danske vejregler. Samtidig beskrives de mangler og den utilstrækkelighed vejreglerne indebærer i forbindelse med projekteringen på edb, der kræver foruddefinerede svar på alle forekommende spørgsmål af geometrisk karakter.

Den multidynamiske designmetode defineres herefter i henhold til kendte metoder. Således sættes denne metode i relief i forhold til de metoder, som anvendes i dag både på edb, men også i traditionel manuel sammenhæng.

En vigtig del af denne afhandling er en overordnet argumentation for at benytte en designmetode, der programteknisk indebærer en stor udviklingsindsats



Således beskrives udfra praktiske eksempler problematikken ved edb-brug generelt. Edb som værktøj og mennesket som den kreative del - konflikt eller synergi - vurderes.

Anvendelse af den multidynamiske designmetode kræver, at den projekterende er i besiddelse af en del projekteringserfaring på krydsområdet. Denne ekspertise beskrives med udgangspunkt i filosofierne Hubert og Stuart Dreyfus' fremstilling /Dreyfus, 1991/. Designmetoden sammenlignes med de metoder som andre edb-systemer har valgt. Ligeledes beskrives de følger det kan få for konstruktionsudformningen og dertilhørende funktionskrav, hvis den multidynamiske designmetode vælges i forbindelse med en projekteringssituation.

## **Den multidynamiske designmetode.**

Den multidynamiske designmetode indebærer en del nytænkning vedrørende selve måden at designe og arbejde på. Således forsøger metoden at lede den kreative tankegang væk fra parametre og edb-brugergrænsefladen hen til den konstruerende og tegnende del af en projektering. Ved at give mulighed for direkte under tegningen at rette på styrende parametre, så man ved den øjeblikkelige forandring af ens tegning kan se resultatet af den indirekte parameterændring, gives der herved en forudsætning for at opfylde dette ønske. Parameterne bliver derigennem sekundære i projekteringssituationen og vises i programsystemet kun perifært i kanten af skærbilledet. Således er der givet en mulighed for at arbejde rent visuelt og intuitivt på skærbilledet. Ønsker man at forandre nogle dele i tegningen, udpeges disse og ændringsmulighederne præsenteres. Ved en multidynamisk forandring, flyttes alle de dele af konstruktionen, der er afhængig af denne forandring, med. Derfor ses umiddelbart resultatet, uden at et eneste tal for en parameter værdi har været indtastet i systemet.

Metoden indebærer risikoen for at der udarbejdes projekter, som reelt ikke opfylder de funktionskrav, som typisk vil være stillet omkring et kanaliseringsanlæg. Hertil vurderes, at en ingeniør under alle omstændigheder personligt bærer ansvaret for et projekt, hvorved det er underordnet, om dette er

fremkommet ved brugen af edb eller ved manuelle beregninger og tegninger.

## **Programdokumentation**

Afhandlingen indeholder en dokumentation for, hvordan et multidynamisk system er opbygget i forbindelse med konstruktionen af et kanaliseringsanlæg. Denne dokumentation indeholder en detaljeret beskrivelse af de multidynamiske funktioner i programmet. Samtlige formler, det har været nødvendigt at udvikle og andre væsentlige udtryk, er gengivet i dette kapitel. Det skulle således være muligt for andre at benytte disse udtryk til evt. at udvikle et lignende system på edb.



# Summary

Through the past decades the use of computers has met the requirements for rationalization in a society in continuous economic and technological growth. Different needs in different sectors have led to a great variety of computer equipment and programmes. Within the road sector this development has also had an impact on the planning of infrastructure and on road-construction. The basis of the thesis is the design of a crossroad; or to be more precise; the design of a channelization in connection with three-legged crossroad. In principle the crossroad is used as a case study in the development of a new design method, referred to as "multi-dynamic".

Multi-dynamic design implies innovative design and work routines in general. The method attempts free creative thinking and makes all parameters secondary implements in a design situation. Multi-dynamic design makes it possible to change controlling parameters during the actual drawing process so that the instant change of the drawing reveals the result of the indirect parameter change.

Thus, the thesis describes how a channelization is designed according to the traditional design-methods stated in "Danish Road Regulations". The thesis also describes the deficiencies and the insufficiency of the above regulations in connection with computer aided design, which requires predetermined answers to all geometric questions. The multi-dynamic design method is hereafter defined in accordance with other well-known methods used today on computers as well as in traditional, manual relations. An important aspect of the thesis is a general argumentation in favour of the application of a design method, which has the potential to develop technically. The problems in connection with the use of computers in general are described on the basis of practical examples. The computer as a tool and man as a creative partner - conflict or synergy ?

The application of the multi-dynamic design method requires that the engineer has some experience within the field of crossroad-design. This expertise is described on the basis of an account by the two philosophers Hubert and Stuart Dreyfus. The design method is compared to other computer system methods. Furthermore, the thesis describes the consequences for the construction design and the functional requirements related to this, if a multi-dynamic design method is applied in a design-situation.

The thesis also substantiates the structure of a multi-dynamic computer system in connection with the construction of a channelization. The substantiation contains a detailed description of the multi-dynamic functions of the program.

# 1

## Indledning

---

Dette kapitel har til formål at give en kort introduktion til hovedemnet i denne afhandling og at beskrive projektets indhold. Dette gøres ved at beskrive selve problemstillingen i projektet og afgrænse denne i forhold til beslægtede emner.

## 1.1 Projektformulering

Med den øgede anvendelse af elektroniske hjælpemidler, specielt anvendt som tegneredskaber indenfor vejsektoren, opstår et behov for ligeledes at kunne konstruere vejkryds og andre anlæg med disse relativt enkle hjælpemidler. Der bliver i disse år udviklet hjælpeværktøjer til mange områder indenfor vejprojektering, men netop området krydsgeometri har man ikke gjort ret meget ved endnu. Flere af markedets edb-systemleverandører, som tilbyder programmer til vejprojektering, har ligeledes opdaget, at der er et generelt behov herfor. Derfor viser det sig nu, at næsten alle systemer på samme tids punkt er ved at udvikle et system til konstruktion af vejkryds. Grunden til at dette sker som noget af det sidste, selvom krydskonstruktion betragtes som en grundfunktion i et velassorteret vejprojekteringssystem, skyldes utvivlsomt, at det kræver en meget omfattende teoretisk viden at opbygge et sådant system for kryds.

Krydsudformningen forekommer rent geometrisk som noget af det mest vanskelige indenfor den geometriske del af vejprojekteringen. Dette skyldes bl.a., at de vejregler og metoder som allerede er udviklet, kun gælder i specielle geometriske tilfælde. Ønsker man, at et system skal kunne frembringe generelle løsninger gældende i alle former for krydsgeometrier, vanskeliggøres beregningerne herfor betydeligt. Ydermere kræver en projektering af et kryds mere end blot beregninger, i dette tilfælde er det selve udtegningen, som er interessant. Umiddelbart optræder kun selve linieberegningen som noget lige så vanskeligt, men dette område blev løst edb-teknisk allerede omkring 1970. Dengang krævedes ikke, og principielt heller ikke i dag, nogen form for udtegning. Her var det kun hovedpunktsberegningen og afsætningsdataene, som havde interesse. Det store antal geometriske parametre, der forekommer i et kryds, er et af de væsentligste problemer (i Intergraph's krydsprojekteringssystem indgår ca. 350 parametre). Alene styringen af disse bliver en meget vanskelig og måske uhåndterlig opgave.

Behovet for at konstruere kryds ved hjælp af edb er opstået, efterhånden som den almindelige vejprojektering er gået over til edb, eller rettere sagt CAD (Computer Aided Design). Dette er sket gradvist siden man startede med at udføre linieberegningen på edb. Sidenhen fulgte masseberegningerne udført manuelt indtastede tværprofiler og et defineret normalt tværprofil. Edb-brugen var derfor koncentreret om ren talbearbejdning. CAD-systemet tillader, at man skaber et input til systemet ved at tegne sine projekter direkte på skærmen, hvorefter edb-systemet "oversætter" disse tegnede objekter til tal. Herefter udføres edb-beregninger i princippet på samme måde som før. I CAD-systemet indtaster man derfor ikke en række tal for at få foretaget en linieberegning, men man tegner direkte på kortet, der er vist på skærmen. Herefter vil systemet omfortolke den grafiske linie til numeriske talværdier og foretage beregningen. Beregningsprogrammet er det samme, men den måde, hvorpå indgangsdata til programmet gives på, er en anden.

Derfor har man længe kunnet beregne vigtige parametre til den geometriske krydsudformning, men udtegningen var ikke så enkel, idet et kryds knyttes meget tæt til de fysiske bindinger i marken. Der blev udviklet små delsystemer til simple krydsproblemer, men først i de senere år har man søgt at tage skridtet fuldt ud til udviklingen af et helt system. Behovet har i mellemtiden vokset sig stort og kravene til et sådant system for krydsprojektering er vokset støt med udviklingen af hardware og software på andre områder.

Man kan spørge sig selv, hvorvidt det kan være rimeligt, at der udføres systemudvikling i forbindelse med et Ph.D. - projekt. Det rimelige ligger i, at projektets teoretiske problemstilling i stort omfang er uafdækket. Der findes ingen kokebog eller simpel opskrift på grundlag af hvilken et sådant krydsprojekteringssystem kan opbygges. Det eneste udgangspunkt man har, er vejreglerne, der giver en analog beskrivelse af, hvordan et vejkryds konstrueres. Betegnelsen analog skal ses som et antonym til digital, dvs. en metode der ikke er møntet på et digitalt hjælpemiddel, såsom et CAD-system. Udfordringen ligger derfor primært i at omforme disse analoge beskrivelser til en digital læsbar form. Dette kan gøres umiddelbart, men tilbage står spørgsmålet om hvordan kontakten til CAD-systemet skabes.



Dette spørgsmål søges besvaret ved at spørge dem, der kan have gavn af at projektere kryds i et CAD-system. Således blev nogle ingeniører og assistenter i to danske amtsvejvæsenere interviewet på et tidligt tidspunkt i afhandlingens forløb. Denne spørgerunde gav et overraskende resultat. I stedet for at fortsætte med den kendte projekteringspraksis, ønskede man et fuldstændigt fleksibelt værktøj, der gav mulighed for at foretage interaktive ændringer på skærmen således at brugeren ved hjælp af den direkte kontakt til tegningen på skærmen kan ændre på konstruktionens geometriske form. For yderligere uddybning af spørgerunden henvises til appendiks A4.

Herved blev grundprincippet for det multidynamiske krydskonstruktionsprogram lagt fast. Ideerne var relativt enkle at beskrive, men det indebar store problemer at føre dem ud i praksis. Med følgende eksempel fra en typisk krydsprojekteringssituation søges denne problemstilling illustreret:

De analoge beskrivelser gælder for eksempel ved en sekundærhelle kun i to situationer, dvs. for en lille helle (samlet bredde 3m) og for en stor helle (samlet bredde 5m). Hvis der skulle laves et værktøj, hvor en ændring skulle kunne foregå dynamisk, måtte der opstilles nogle matematiske udtryk og numeriske algoritmer, der gælder for alle de mellemliggende situationer.

Et andet problem var, hvorledes selve dynamikken skulle kunne etableres i programmet. Brugeren har reelt kun trådkorset, der kan flyttes rundt på skærmen, og hvordan skal denne flytning ækvivaleres med en dynamisk ændring af f.eks. hellebredden?

Et tredje problem var fleksibiliteten i forhold til de fysiske bindinger. Her tænkes især på de skærende vejes geometri, dvs. deres linieføring. Hvorledes kan de analoge beskrivelser, der kun gælder for simple geometrier som rette veje og kurvede veje, omformes til også at gælde for linieføringer, der indeholder klotoider eller blot kombinationer af rette linier og kurver? Også dette problem måtte løses.

Et fjerde problem var hensyntagen til den tredje dimension, altså beskrivelsen af niveauforløbet og koter i et kryds. Skulle der udvikles specielle terrænmodeller i forbindelse med selve krydsprojekteringen?

Tilbage stod kravene til selve brugen af systemet, dvs. den dialog der skal foregå mellem bruger og program også kaldet "interface" eller brugergrænseflade. Skulle der udvikles noget helt nyt eller kunne de eksisterende systemer udbygges? Hvordan skulle dialogen opbygges, både visuelt og rent programteknisk?

Mange flere spørgsmål kan opstilles her, men flere af disse er blot af rent programteknisk karakter og derfor mindre relevante for denne problembeskrivelse.

## 1.2 Projektafgrænsning

Udgangspunktet for nærværende afhandling har været geometrisk vejprojektering på edb. Herudfra valgtes yderligere at foretage en afgrænsning til vejkryds som afhandlingens hovedemne. Afhandlingen bevæger sig derfor indenfor emnet projektering af vejkryds på edb. Selvom denne afgrænsning umiddelbart forekommer snæver, er den stadigvæk meget vidtfavnende og en yderligere afgrænsning er nødvendig. Selve den interaktive metode, som vi bliver beskrevet senere gennemprøves i et edb-system, der retter sig mod den geometriske udformning af T-kryds og ikke omfatter rundkørsler. Rundkørsler berører ganske vist nogle af de samme problemområder, men er fravalgt og ligger udenfor afhandlingens emneområde.

Hovedemnet består i udviklingen af en ny metode til at konstruere et T-kryds i et CAD-system. Fra denne synsvinkel vil emnet projektering af T-kryds kunne betragtes som en case, der bliver benyttet til at illustrere metoden.

Som det vil fremgå af afhandlingen, indeholder denne primært udvikling af den multidynamiske arbejdsform og kun sekundært implementering af denne i et system til projektering af vejkryds på edb. Afhandlingen deler sig i tre dele. Den første består af den beskrivende del, hvor den multidynamiske arbejdsmetode forsøges belyst udfra forskellige synsvinkler. Den anden del udgøres af programdokumentation, der indeholder en teoretisk og metodisk beskrivelse af krydsprojekteringsprogrammet. Den tredje og sidste del indeholder en vurdering af hele systemet.

Programdokumentationen indeholder en beskrivelse af de matematiske forudsætninger for systemet, herunder det formelsæt det har været nødvendigt at udvikle for at gøre systemet multidynamisk, og en beskrivelse af hvordan programmet virker. Her tænkes ikke på en sædvanlig brugerbeskrivelse, men på hvordan det multidynamiske princip rent praktisk opnås i de enkelte programdele. Programmet er under stadig udvikling og ændres/udbygges dag for dag, men da programmet egentlig kun er et værktøj til at beskrive det multidynamiske princip, er dette en underordnet del af afhandlingens metodebeskrivelse. Det program, der er beskrevet i denne afhandling, er ikke færdigudviklet. Dette vil reelt først kunne ske om nogle år, men indholdet vil alligevel være ganske tilstrækkeligt til at belyse den designfilosofi der beskrives i afhandlingen, samt til at præsentere teorien og metoden for størsteparten af selve krydsprojekteringsprogrammet.

Det skal understreges, at afhandlingen i stort omfang benytter sig af de danske vejregler for projektering af kryds i åbent land /5.30.01, 1983/. Hvad der er mere vigtigt, forudsætningerne for og rigtigheden af disse sættes der ikke spørgsmåltegn ved i denne forbindelse. Uden tvivl vil man få mange gode ideer til et sæt analoge beskrivelser, når mandechifrerer dem til digitalt brug. Således er slæbekurvebestemmelserne i afhandlingens program fremkommet ved direkte at erstatte de analoge diagrammer med matematiske funktioner, som er fundet ved aflæsning i diagrammerne. Dette kan forekomme som den omvendte verden, men da de oprindelige udtryk, der har ligget til grund for diagrammerne ikke kunne opspores, blev denne metode valgt.

Generelt består vejreglerne af en blanding af originaletyske vejregler /RAS-K-1, 1988/, geometriske formler og en god portion empiri. Det siger sig selv, at det ikke er let at benytte et sådant materiale til en digital modelbeskrivelse i et CAD-system. Det har således været nødvendigt at gøre en del antagelser og forudsætninger, som muligvis ikke er helt korrekte. Da det er muligt at vurdere resultatet direkte på skærmen, kan den ansvarlige ingeniør imidlertid udføre grundlæggende funktionskrav og erfaring afgøre, om konstruktionen er rimelig eller ej.

Idet programsystemet lagrer alle informationer omkring krydset, dvs. foreløbig kun geometriske informationer, kan disse benyttes i anden sammenhæng, se afsnit 7.3 for uddybning af denne problemstilling. Det blev valgt ikke at gøre afhandlingen til genstand for diskussion af den geometriske udformning. Tilsvarende vil forudsætningerne herfor heller ikke blive diskuteret. Her tænkes på f.eks. kapacitetsberegninger, bestemmelse af dimensioneringshastigheder, afmærkning på vejen, skilteplacering, afvandingskonstruktioner og meget mere. Der ses kort og godt kun på den geometriske udformning af kørebanearealet i planen. Dette er væsentligt at understrege, idet afhandlingen ellers ville spænde for vidt og omhandle for mange emner og anlægselementer, der bestemt er meget vigtige for krydsets funktion som helhed, men i denne sammenhæng ikke er væsentlige for problemstillingen.

Som afhandlingens titel påpeger, handler den om den multidynamiske konstruktion af et vejkryds. Herudover vil nogle af de emner, som kun perifert har berøring med den tekniske del af metoden og systemudviklingen blive behandlet. I selve programudviklingen er det f.eks. yderst væsentligt at involvere de mennesker, som forventes på et senere tidspunkt at skulle anvende systemet. Herved kan programmets funktion og virkemåde fastlægges i hovedtræk.

Oprindeligt var det meningen, at en forhåndsvurdering af brugerens ønsker og krav skulle med i afhandlingen, men denne blev reduceret til sporadiske tilkendegivelser fra forskellige sider. Således bliver mange af de designprincipper, som projekteringssystemet indeholder, ikke vurderet i praksis. Reelt ville dette have været meget vanskeligt, fordi det ville kræve op imod et år at udføre

en reel efterevaluering af systemet. Afhandlingen lægger derfor vægt på at præsentere et mere principielt teoretisk indhold, mere end på de praktiske brugerorienterede anvisninger og problemstillinger.

Den teoretiske model er vurderet i forhold til amternes projekteringserfaringer, og disse ligger til grund for en foreløbig evaluering af systemet. Uden tvivl vil systemet skulle justeres for uhensigtsmæssige funktioner og fejl, ligesom de fleste andre programsystemer. De principielle fordele, som opnås ved at arbejde interaktivt med en konstruktionstegning er åbenlyse. Selvom der fra forskellige fremtidige brugeres side vil blive stillet krav om justeringer af og i høj grad suppleringer til projekteringssystemet, vil designfilosofien kunne give ideer til andre systemudviklere indenfor vejsektoren og andre tekniske fag, som anvender CAD til tegningsproduktion.

Systemudvikling er også et forskningsområde i sig selv, ligesom udviklingen af selve brugergrænsesnittet mellem bruger og maskine er det. Men udover nogle overordnede tanker, som afhandlingen har givet anledning til, og som fremgår af appendiks A og B, har det ikke været hensigten at dyrke dette område yderligere, idet afhandlingen her har bygget på erfaringer fra de undersøgelser, der allerede er foretaget.

# 2

## Kryds- projektering

---

Dette kapitel omhandler selve krydsprojekteringen, herunder selve indholdet hvordan den principielt udføres og med hvilke hjælpemidler dette kan gøres. Således berøres både den traditionelle metode og metoden ved anvendelse af edb. Beskrivelsen munder ud i en egentlig definition af de metoder, der benyttes i dag.

## 2.1 Forudsætninger

Vejreglerne indeholder de grundlæggende forudsætninger for vejprojekteringen i Danmark. Disse undergår en kontinuerlig forandring, der resulterer i nye udgaver af vejreglernes mange bestemmelsesområder.

I afhandlingen benyttes specielt den danske vejregel "5.30.01 Vejteknik knudepunkter i et plan, vejregler for vejkryds i åbent land". Derfor beskrives vejreglernes formål og funktion nærmere i det følgende.

Vejreglernes nuværende opbygning blev vedtaget 20. november 1975 og består af følgende tre kategorier:

1. Normer
2. Retningslinier
3. Vejledning

Ad 1 **Normer** omfatter fundamentale forudsætninger og krav.

Normtekster kan være forsynet med kommentarer, men vil normalt ikke angive metoder, der bør eller kan anvendes for at få de specificerede krav opfyldt.

Normer skal altid følges. Fravigelse fra normer kan dog ske med dispensation fra trafikministeren.

Ad 2 **Retningslinier** er regler til anvendelse under normale forhold.

Retningslinier indeholder angivelse af metoder, der bør anvendes til løsning af bestemte problemer. De kan indeholde anbefalinger af typeløsninger og typekonstruktioner til brug under specificerede betingelser.

Retningslinier bør så vidt muligt følges, med mindre omstændighederne konkrete tilfælde gør det nødvendigt eller fordelagtigt at fravige dem.

Vejreglerne kan udover disse to kategorier efter behov suppleres med:

Ad 3      **Vejledninger** indeholder rådgivning baseret på ajourført erfaringsmateriale, og deres anvendelse vil normalt være hensigtsmæssig.

Den omtalte danske vejregel nr. 5.30.01 indeholder kun meget lidt egentlig normstof. Den består hovedsageligt af vejledninger med enkelte retningslinier. Dette er væsentligt at understrege, idet vejreglerne således indebærer frihed til at vælge individuelle konstruktioner og løsninger.

Erfaringsmæssigt virker vejreglerne for krydsi åbent land som projekteringsvejledninger, man kan følge eller lade være. Den detaljerede fysiske udformning af krydsets enkelte dele afhænger som oftest af den konkrete lokalitet, hvor krydset indgår, og vil derfor kræve modifikationer i forhold til vejreglerne. Der er dog også andre årsager til, at vejreglerne ikke er tilstrækkelige for fastlæggelse af selv ganske almindelige geometriske konstruktioner. Eksempler herpå er:

- Kanalisering i et vejforløb, der indeholder klotoider eller en kombination af cirkler og linier.
- Tilslutningskant for ikke lineære kørebanekanter.

Principielt behandler vejreglerne kun simple geometriske tilfælde, selvom disse ikke er særligt almindelige i praksis. Ved udvikling af et EDB-program til geometrisk konstruktion af vejkryds må vejreglerne derfor udvides på flere områder. Udvidelsen vil ske udfra erfaring og skøn.

Udover denne videreudvikling fra simple geometrier til almengyldige og vilkårlige geometrier er vejreglerne i denne afhandling suppleret yderligere. Dette er sket gennem anvendelse af det multidynamiske princip i afhandlingens programsystem, i modsætning til den statiske projekteringsmetode, som vejreglerne er udarbejdet for.

Den detaljerede gennemgang af disse suppleringer fremgår af kapitel 5 programdokumentation.



## 2.2 Manuel projektering

For at kunne anskueliggøre fleksibiliteten i den multidynamiske projekteringsmetode, vil det være meget nyttigt i korte træk at beskrive den manuelle metode, som er præsenteret i vejregler for kryds i åbent land.

Den manuelle metode er i sagens natur analog (dvs. ikke digital) og meget systematisk. Konstruktionsvejledningen er således opbygget som en trinvis vejledning, med henblik på manuel tegningsproduktion uden tekniske hjælpemidler af nogen art. Fejles der i den allerførste fase, skal hele konstruktionen rekonstrueres. Denne erfaring har mange projekterende sikkert gjort. Derfor vil der i den dynamiske projekteringsmetode blive taget hensyn til dette, idet der etableres en mulighed for en efterfølgende redigering af hele krydset, ved at gøre værktøjerne meget fleksible.

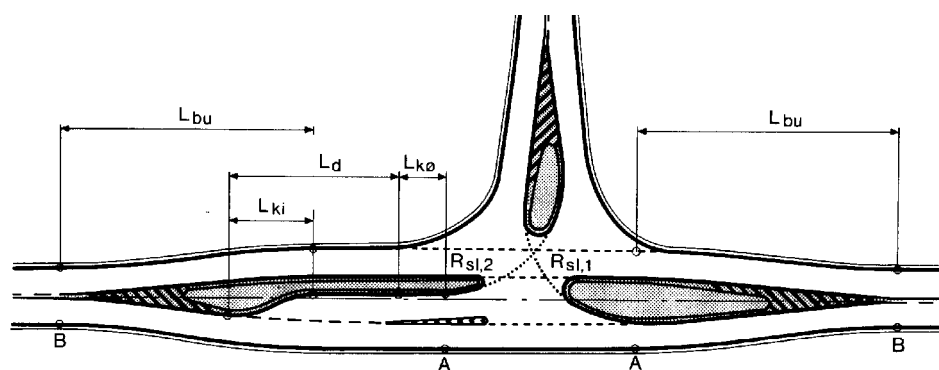


Fig. 2.1 Standard T3-kryds med enkelte væsentlige betegnelser /5.30.01, 1983/.

På figur 2.1 ses de centrale dele af et kryds med kanalisering, et såkaldt T3 kryds. Krydset kan selvfølgelig fremstå med andre detaljer og dimensioner, men principielt indgår de væsentligste konstruktionselementer ved projektering af et vejkryds.

De punkter, der har den væsentligste betydning for krydsets udstrækning, er punkterne A og B vist i figur 2.1. For at kunne bestemme disse punkters beliggenhed, er det nødvendigt at have tegnet slæbekurverne  $R_{SL1}$  og  $R_{SL2}$ , som danner hhv. højre og venstre afgrænsning af sekundærhellen, set fra sidevejen. Med andre ord bør sekundærhellen være konstrueret færdigt (om end ikke i detaljer så dog skitse-mæssigt), før en egentlig konstruktion af primærvejens dele kan påbegyndes.

Dette forudsætter derfor, at afstandene  $b_1$  og  $b_2$  vist i figur 2.2 er kendt.

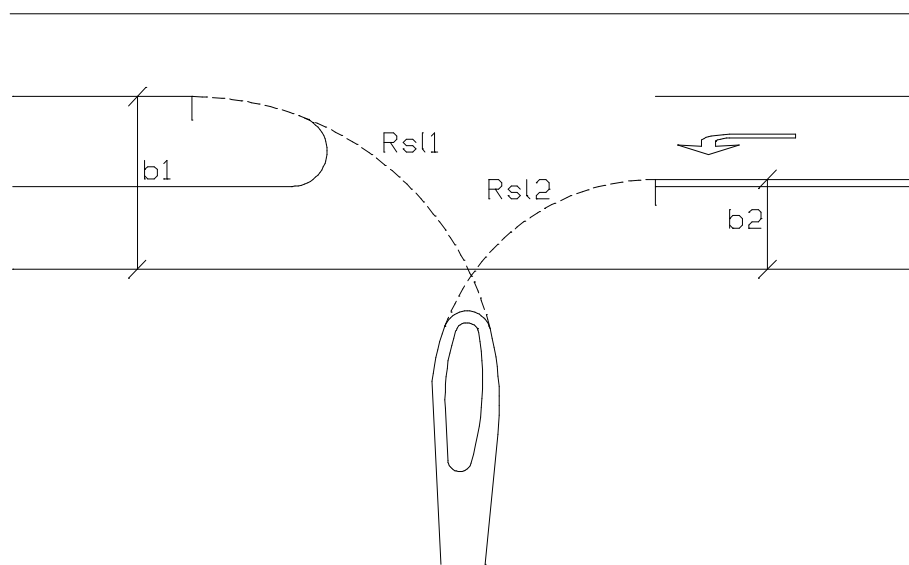


Fig. 2.2 De centrale størrelser  $b_1$  og  $b_2$  ved sekundærhellen.

Det forudsættes her, at man på forhånd kender bredden på primærvejens gennemfartsspor, bredden på svingsporet og bredden på primærhellen ved siden af venstresvingsporet. Er disse bredder én gang valgte, kande ikke fraviges, uden at det vil få konsekvenser for resten af konstruktionen. Disse mål er således fastlagte, inden man går i gang med projekteringen af et kryds. I projekteringsforløbet sker der imidlertid ofte ændringer hen ad vejen, og sommetider først når tegningen skal endelig godkendes. Sker der ændringer på forudsætningerne for konstruktionen, eller blot på nogle enkelte dele af den

medfører det gerne, at andre dele af krydset ligeledes skal ændres. Denne afhængighed imellem krydsets enkelte dele er beskrevet i afsnit 4.5.

Selve den manuelle projektering foregår ifølge vejreglerne som vist på følgende figur 2.3.

0.	DIMENSIONERINGSFORUDSÆTNINGER
1.	SEKUNDÆRHELLE, KONSTRUKTION
2.	PRIMÆRVEJ, FASTLÆGGELSE AF UDMÅLINGSPUNKTER
3.	PRIMÆRHELLE, DIMENSIONERING BREDDEUDVIDELESSTRÆKNING, $l_{BU}$ KILESTRÆKNING, $L_{KI}$ DECELERATIONSSTRÆKNING, $L_d$ KØSTRÆKNING, $L_{KØ}$
4.	PRIMÆRVEJ, KONSTRUKTION AF BREDDEUDVIDELSE
5.	PRIMÆRHELLE, KONSTRUKTION AF BEGRÆNSNINGSLINIER
6.	PRIMÆRHELLE, UDFORMNING SPÆRREFLADE MED KANTSTENSBEGRÆNSNING UDEN KANTSTENSBEGRÆNSNING
7.	HØJRESVINGSSPOR, DIMENSIONERING OG KONSTRUKTION

8.	SEKUNDÆRVEJ, KONSTRUKTION AF BREDDE- UDVIDELSE
9.	TILSLUTNINGSKANTER, KONSTRUKTION

*Fig. 2.3 Projekteringsgang ifølge de danske vejregler /5.30.01, 1983/.*

I projekteringen indgår mange geometriske parametre, som enten vælges eller beregnes ved hjælp af formeludtryk. Yderligere skal der træffes nogle valg af betydning for selve udformningen. Punkt 0 i figur 2.3 (dimensionerings forudsætninger) indebærer således en del af disse valg. Det er ret væsentligt, at man følger denne projekteringsprocedure, idet de enkelte dele af konstruktionen er afhængige af hinanden. Man har ikke mulighed for at springe dele over.

Under punkt 1 bestemmes tangentialpunkterne A ved hjælp af de to slæbekurvers tangentialpunkter med linier parallelle med A-A retningen. Disse punkter fastlægger således hele den langstrakte geometri på primærvejen. En ændring af disse punkters placering vil samtidig medføre en ændring af punkterne B's placering, som umiddelbart er afhængige af punkterne A's beliggenhed og længderne beregnet under punkt 3 i figur 2.3.

Det skal pointeres, at samtlige valg og beregninger, der foretages under projekteringsfaserne, bliver endegyldige når først konstruktionen er tegnet op. Ønsker man at foretage en ændring i nogle af de centrale dele af krydset, kan man være tvunget til at tegne hele krydset igen, som det også fremgår af figur 2.3. Da mange af krydssets enkelte dele er meget tidskrævende at tegne, vælger man som oftest at redigere med "løs" hånd og få krydset til at se "rigtigt" ud. Praktisk set er denne lidt uheldige procedure normalt uden betydning. Dog har man set enkelte uheldige eksempler på, at en grundig efterredigering ville have gjort gavn.

Denne procedureagtige konstruktion er meget kendetegnende for den manuelle projektering. Fordelen er, at processen fra skitsering over beregning og til

rentegning er ganske kreativ, og giver fine muligheder for individuelle løsninger og tilpasninger. Idet man først forsøger at få dannet sig et billede af, hvordan krydset skal udformes og de forskellige trafikstrømme tilgodeses, opstår der nye ideer til krydsudformningen på papiret. Ulempen er den meget uflexible håndtering af det færdige kryds, idet man ved nødvendige ændringer er tilbøjelig til at manipulere med tegningen, så rimeligheden er bevaret i forhold til de praktiske krav, men den geometrisk korrekte udformning er ofret.

## 2.3 Projektering med edb

For at få edb-anvendelsen sat ind i det rigtige perspektiv, indledes dette afsnit med en kort historisk oversigt over edb-anvendelsen i den danske vejsektor.

### Historisk indgangsvinkel

Edb-teknologien har igennem de seneste årtier holdt sit indtog på snart alle administrative og tekniske områder. Således har beregningsprogrammerne i geometrisk konstruktionssammenhæng været anvendt siden 1970'erne. CAD-systemerne, dvs. værktøjet til automatiseret tegningsproduktion, kom i 1980'erne og har først og fremmest været anvendt til projektering indenfor bygnings- og maskinområdet.

Vejbygningsfaget har gennemgået omtrent samme udvikling med den undtagelse, at markedet for CAD-programmer til dette fag er meget lille i Skandinavien i forhold til resten af den vestlige verden. Derfor er udviklingen gået langsommere på dette område sammenlignet med f.eks. fagområdet bygningsteknik. En anden væsentlig faktor er, at netop vejområdet i stort omfang er et offentligt anliggende. Dette er i sig selv en bremseklo, idet edb-udviklingen indenfor den offentlige sektor på de fleste områder halter bagefter de store private organisationer og virksomheder.

I Danmark har Vejdirektoratet siden 1970'erne udviklet beregningsprogrammer på mainframe edb-udstyr. Disse programmer blev i stor udstrækning benyttet af næsten alle vejprojekterende her i landet helt op gennem 1980'erne og til dels den dag i dag. I tidligere år foregik dette ved at sende datagrundlaget for beregningerne med postvæsenet, senere ved opkobling af pc'er via modem. Da Vejdirektoratet i 1987 gik over til et nyt edb-system (faktisk til flere nye systemer), blev de gamle beregningsprogrammer mere eller mindre lagt på hylden (læs: ikke videreudviklet). Amter og kommuner var således tvunget til enten at følge Vejdirektoratets edb-investering eller vælge noget helt andet. Vejdirektoratet havde indkøbt systemerne til egne projekteringsformål, dvs. primært motorvejsprojektering. Edb-systemet og de tilhørende investeringer skal således ses i relation til dette. Amter og kommuner projekterer lokale vejanlæg i form af stier, vejkryds, forstærkningsarbejder og enkelte nye landeveje eller vejforlægninger. Uden at komme ind på, hvilke systemer der her er tale om, ligger Vejdirektoratets årlige edb-investering mange gange højere i forhold til de enkelte amtsvejvæsener. Rimelighedsgrænsen for tilsvarende investeringer her vil aldrig kunne nå Vejdirektoratets investeringsomfang.

I 1992 indførte nogle danske amter et norsk pc-baseret CAD-system (NovaCAD) til vejprojekteringsformål. Enkelte amter og kommuner havde i forvejen anskaffet andre systemer. Med undtagelse af ét, var de tidligere valgte systemer baseret på pc'er, som med årene var blevet så kraftige, at de kunne magte en vejprojekteringsopgave. Grundstenen var hermed blevet lagt for CAD-anvendelsen på vejområdet indenfor amt og kommune.

Sideløbende har de rådgivende ingeniørvirksomheder her i landet opbygget en stor viden i brug af systemerne, selvom denne meget tidlige start for enkelte af firmaerne har betydet meget store investeringer, især sammenlignet med hvad der er behov for i dag. Ser man på det udviklingsstade, som disse systemer befinder sig på i dag, er de på de fleste områder ikke længere fremme med systemudviklingen end PC-systemerne, som først dukkede op for ganske få år siden.

## Edb som tegningsredskab

Edb-systemet vil givetvis skulle håndtere projekteringen af et kryds efter nogenlunde de samme principper, som benyttes ved den manuelle projektering. Hastigheden dette gøres med, er for selve udtegningen en hel del hurtigere. De indledende skridt i projekteringen med edb-systemet vil dog være en del forskellig fra den manuelle metode.

Hvis projekteringen på edb foretages uden hjælpemidler i form af applikationer, dvs. programmer som er specielt udviklet til f.eks. konstruktion af vejkryds, vil afvigelsen fra den manuelle projektering hovedsageligt dreje sig om selve tegneværktøjet. Selvom tegning på edb gennemføres med meget stor nøjagtighed idet alle punkter på tegningen har eksakte koordinater, er det en udbredt opfattelse, at tegning på edb går hurtigere end på tegnebordet. Dette gælder dog kun, hvis man sammenligner tegnere, som har flere års erfaring ved hhv tegnebordet og edb-maskinen. Sammenligner man med en tegner, som først for nylig er skiftet fra bordet til maskinen, vil resultatet ikke kunne bruges, da tegneren på et så tidligt tidspunkt ikke vil have haft mulighed for at opnå et sammenligneligt færdighedsniveau endnu. Det kræver en hel del øvelse at tegne på maskinen, idet man først skal lære programmernes forskellige muligheder at kende.

Det samme fænomen har kunnet observeres ved overgangen fra elektriske skrivemaskiner til edb-baseret tekstbehandling. Hvis man spørger en sekretær, der har arbejdet med tekstbehandling i nogle år, om han/hun ønsker at skifte tilbage til skrivemaskinen, vil svarene være enslydende: NEJ. Det samme gør sig gældende for det tekniske tegnearbejde.

Selvfølgelig medfører skærmarbejdet andre problemer, såsom edb-maskinens indflydelse på arbejdsmiljøet, afmagten overfor maskinen, forandrede arbejdsrutiner, behov for efteruddannelse, mindre kontakt til kollegaer m.m. Disse aspekter må ikke negligeres, men i nærværende afhandling er disse vigtige emner ikke berørt, selvom interessen herfor har været tilstede.

Med edb-systemet har man muligheden for at arbejde meget intensivt med små detaljer. Denne mulighed gives primært pga. muligheden for at zoome detaljen op til en meget stor størrelse. Ligeså meget som dette er en fordel, kan det være en ulempe, idet man kan komme til at bruge for meget tidnetop på detaljer, som rent praktisk ude i marken ingen betydning vil få. Det følgende eksempel fra det "virkelige liv" belyser dette forhold:.

En projekterende fik til opgave at indlægge en klotode imellem en ret linie, som indgår i et nyt projekt, og en kurve, som var fastlagt for en eksisterende vej ude i marken. Da projektet som sådant var færdigt beregnet og tegnet, var viljen til at ændre på projektet ikke stor. For at spare arbejde blev klotoiden placeret imellem den rette linie og kurven uden at tage hensyn til cirkelindrykket forårsaget af klotoidens geometri. Følgerne blev, at der kom et mindre knæk imellem klotoiden og cirkelbuen. I et CAD-system havde dette ikke været muligt, idet en klotode kræver en linieberegning, og beregningsprogrammet havde ikke tilladt denne geometriske manipulation. På papiret vil denne fejl derimod ikke blive opdaget, fordi det blotte øje ikke kan se den.

Den største fordel, man kan opnå ved brugen af edb, optræder under selve projekteringen. Hvor tegneren ved overgangen til edb skifter værktøj - fra blyant og tusch til edb og plotter - giver edb-systemet ingeniøren assistance ved selve beregningsarbejdet, som netop har været edb-systemernes oprindelige formål. Specialudviklede programmer kan give en hjælp til konstruktion af principielle udformninger, såsom et vejkryds. Udfra de samme parametre, som benyttes til manuelle beregninger, kan systemet beregne og tegne halvfærdige konstruktioner. Denne fordel er ganske åbenlys, selvom det i de næste kapitler skal vises, at det ikke er ligegyldigt, hvordan systemet håndteres. Denne meget maskinelle og ensformige form for konstruktion kan give bagslag netop på krydsprojekteringsområdet. De fleste kryds ligner ganske vist hinanden i princippet. Men da der samtidig optræder forskelle pga. de fysiske bindinger ude i marken, er det vigtigt, at systemet kan give mulighed for valg af individuelle løsninger.



## 2.4 Diskussion af projekteringsmetoderne

Umiddelbart kan dette afsnit om metoder måske forekomme lidt overflødig, idet næsten alle på tegnestuerne allerede for år tilbage er gået over til edb-baseret optegning, som der er mange fordele forbundet ved. Hvis en virksomhed ønsker fortsat at eksistere, kræver det effektiv tegningsproduktion, hvor specielle muligheder for "genbrug" af gamle tegninger er ganske uundværlig.

Da edb er kommet for at blive i tegningsproduktionen, er det mere væsentligt at finde ud af, hvorledes udviklingen af systemerne gennemføres mest hensigtsmæssigt. Dette er et kernepunkt i denne afhandling, idet systemudviklingen til krydset her tager udgangspunkt i nogle arbejdsmetoder, som er beskrevet ud fra en filosofi omkring det at løse problemer og bruge værktøjer.

Det er ikke nok at følge strømmen. Denne afhandling skal være med til at fremme, at systemerne udvikler sig i en retning, som alle brugere kan være tjent med. Edb-systemerne bliver større og større, og des større de bliver, des mindre indflydelse kan den enkelte bruger få på deres virkemåde og fremtræden. Det er bl.a. afhandlingens formål at danne baggrund for en diskussion af fremtidens tekniske systemudvikling.

## 2.5 Teoretiske definitioner

I afhandlingen optræder betegnelser for forskellige konstruktionsmetoder. I det følgende bringes definitioner på disse metoder, da det er nødvendigt med en præcis definition, hvis læseren skal have mulighed for at kunne forholde sig til dem. Følgende metoder omtales:

*Statisk*

*Multistatisk*

*Dynamisk*

*Multidynamisk*

Med undtagelse af den statiske metode kræver disse et CAD-system for at kunne anvendes.

### **Statisk metode**

Traditionelt har den projekterende vejingeniør ved hjælp af simple redskaber konstrueret sig frem til ønskede geometriske løsninger. Nogle dimensioner bliver valgt af den projekterende, nogle dimensioner er foreskrevet i et regelsæt, andre fastlægges evt. som en kombination af regelsæt og udvælgelse. Alle resultater præsenteres primært på en konstruktionstegning. Denne tegning er således et resultat af parallelt udførte beregninger, hvad enten den er tegnet "hånden" eller på et CAD-anlæg, selvom et CAD-anlæg i sit standard tegneværktøj delvist vil have indbygget en beregning af de enkelte dele af en tegning. Eksempelvis vil placeringen af slæbekurven ved sekundærhellen kunne etableres gennem CAD-systemets funktion for indsættelse af en cirkelbue med en given radius mellem enten to rette linier eller to buer.

Derfor kan den statiske konstruktionsmetode beskrives som følger:

*Ved den statiske konstruktionsmetode går parametervalg og beregninger forud for udførelsen af tegningen. Tegningen fremstår uforanderlig og uden direkte forbindelse til dens forudsætninger.*

Således vil en ændring i en konstruktionstegning medføre en nyberegning m.m. af hele eller dele af konstruktionen, hvorefter tegningen skal rettes til. Dette er selvsagt den traditionelle metode, der stadig benyttes mange steder indenfor vejprojekteringen.

Det væsentlige er her, at en tegning udført efter den statiske metode ikke har nogen direkte fysisk forbindelse til de beregninger, der ligger bag dens tilblivelse, men blot fremstår som et resultat af disse. Beregningsdokumentationen fremstår på et stykke papir. Ændringer af beregningerne her vil ikke automatisk medføre en ændring i tegningen.

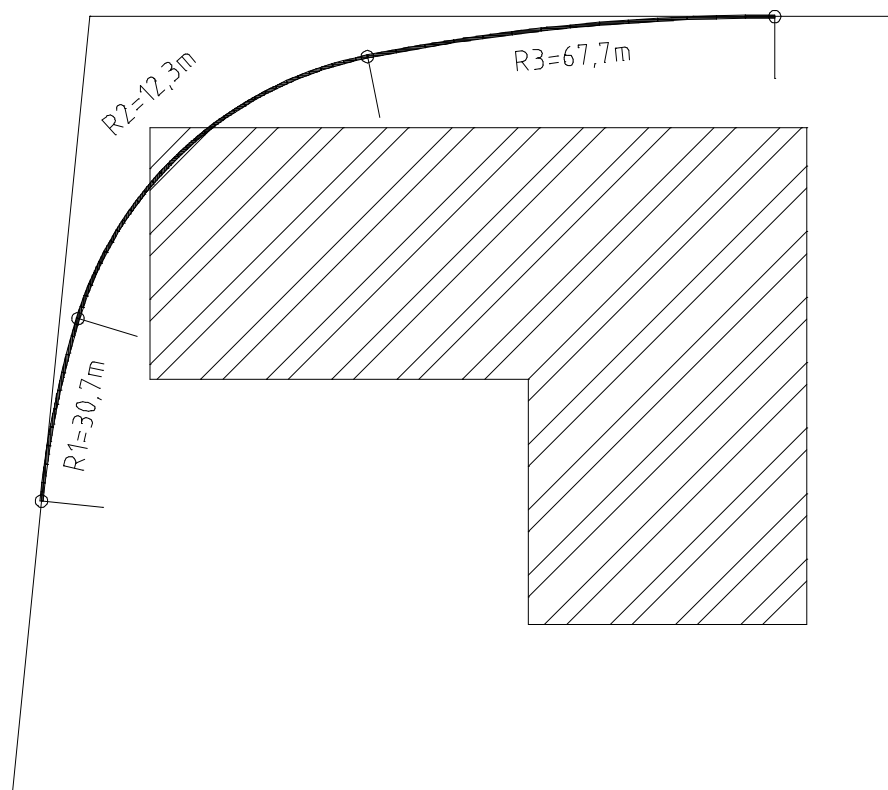


Fig. 2.4 Anvendelse af den statiske projekteringsmetode.

En tilslutningskant kan beskrives på forskellig vis, alt efter hvilke eksisterende geometriske forhold et kryds skal indplaceres i og hvilke køretøjer der forventes at skulle dreje langs denne kant. Ud fra disse forudsætninger og et regelsæt, der eksempelvis for de danske vejreglers vedkommende foreskriver en sammensat kurve af tre cirkelbuer for kryds i det åbne land, bestemmes forskellige geometriske størrelser til optegning af denne kant. Efter kontrol med arealbehovskurver eller pga. andre forhold, f.eks. et hus på hjørnet, se figur 2.4, er man ofte nødsaget til at flytte tilslutningskanten. Dette skyldes således enten, at funktionskravene svarende til det dimensionsgivende køretøjs arealbehovskurve ikke er overholdt, eller at der simpelthen ikke er plads til den valgte konstruktion. Det danske regelsæt tager udgangspunkt i valg af den dimensionsgivende

køretøjstype. Ønsker man at ændre tilslutningskantens udformning, må der tages udgangspunkt i valg af en anden køretøjstype, hvis ikke man selv kan overskue blot at ændre  $R_2$  (Se figur 2.4) til en mere passende størrelse. Hvad enten valget bliver det første eller det sidste, resulterer dette i, at der skal foretages en ny beregning, en ny optegning og efterfølgende en ny kontrol med slæbekurven for den dimensionsgivende køretøjstype. En ændring af  $R_2$  med f.eks. 1m vil ikke svare til en koncentrisk flytning af samme cirkelbue på 1m, men vil variere omkring denne værdi alt efter vinklen mellem primærvejen og sekundærvejen. Derfor vil denne interaktive proces skulle gentages nogle gange, indtil den optimale løsning er blevet fundet.

CAD-værktøjet giver mulighed for at simplificere denne proces, idet mindre makroprogrammer eller andre specielle programmer, som applikation kan automatisere beregningerne og udtegningen. Der er flere måder at gøre dette på.

## Multistatisk metode

En multistatisk applikation i et CAD-system er rent parameterstyret og en ændring af de tegnede objekter sker indirekte ved at ændre de indgående parametre alfanumerisk i skemaer eller lignende under applikationsafviklingen. Den multistatiske metode kan beskrives som følger:

*Ved den multistatiske konstruktionsmetode går valg af parameter forud for den egentlige applikationsafvikling. Beregning og udtegning foregår under applikationsafviklingen, og tegningen fremstår herefter uforanderlig, dog med indirekte kontakt til applikationen og dermed dens forudsætninger.*

Kontakten er indirekte, idet der ikke efter udtegningen er direkte forbindelse med den applikation, der har frembragt tegningen. Tegningen skal først slettes igen, inden en ny geometrisk løsning med nye parametre kan tegnes på samme sted.

Der er i dag udviklet fire systemer, som benytter sig af denne multistatiske metode. CARD/1 fra firmaet RIB - Bausoftware i Tyskland benytter menuer til indtastning af de geometriske parametre, hvorefter enkelte dele af den geometriske konstruktion - svarende til en værktøjskasse - bliver udtegnet.

Systemet MOSS, der er udviklet i England, benytter nærmere en trinvis indtastning af parametre. Hele MOSS-konceptet er bygget op omkring 3 dimensionelle strenge, der indeholder oplysninger omkring strengens identitet, f.eks. en kantlinie, en centerlinie eller et andet geometrisk element. Selvom hovedkonstruktionen sker trin for trin, giver dele af systemet hjælp til f.eks. konstruktion af vejkryds.

Intergraph i Danmark (udviklet hos Carl Bro med hjælp fra DTU) arbejder noget nær 100% efter det multistatiske princip. Et stort antal menuer guider brugeren igennem 350 parametre, som giver mulighed for at tegne et komplet kryds, uanset hvilken udformning der ønskes.

WINKRYSS fra forskningsinstitutionen SINTEF i Norge baserer sig på Windows ver. 3.1. Forbindelsen til CAD-systemet gives via såkaldte ti-tabeller. Disse tabeller indeholdende alle geometriske oplysninger vedrørende en geometrisk linie inkl. klotoider. Forbindelsen til CAD-systemet besværliggøres ved at programmet kører indenfor Windows, hvor det arbejder efter stort set samme multistatiske princip som Intergraph. Da filerne først skal indlæses i NovaCAD (et norsk udviklet vejprojekteringssystem baseret på AutoCAD) besværliggøres arbejdsprocessen yderligere. Denne metode må derfor betegnes som en mellemvariant af den statiske og multistatiske, idet der end ikke er nogen indirekte kontakt mellem den udførte tegning og systemet. Ser man lidt frem i tiden, vil der dog være mulighed for at etablere denne kontakt, idet det forventes, at NovaCAD i fremtidige versioner vil køre under Windows. Selv efter en sådan ændring vil systemet dog stadigvæk kun køre multistatisk.

Fælles for de multistatiske systemer er som tidligere nævnt den parametriske konstruktionsmetode. Grundliggende er denne form for udtegningsform for

regnearksprogrammering, hvor en stor mængde inddata for parametrene indgår i et regneark, hvorefter de vigtigste geometriske størrelser beregnes. Herefter benyttes disse til én og kun én færdig udtegnings. Ønsker man ændringer, går man ind i systemet igen og ændrer de ønskede parametre. Det må her forventes at brugeren kender betydningen af disse ændringer, hvorefter applikationen beregner og tegner på ny. Selvfølgelig er de omtalte programsystemer langt mere komplicerede og omfattende end det fremgår af denne beskrivelse, men principielt ville den multistatiske metode kunne udføres på denne måde.

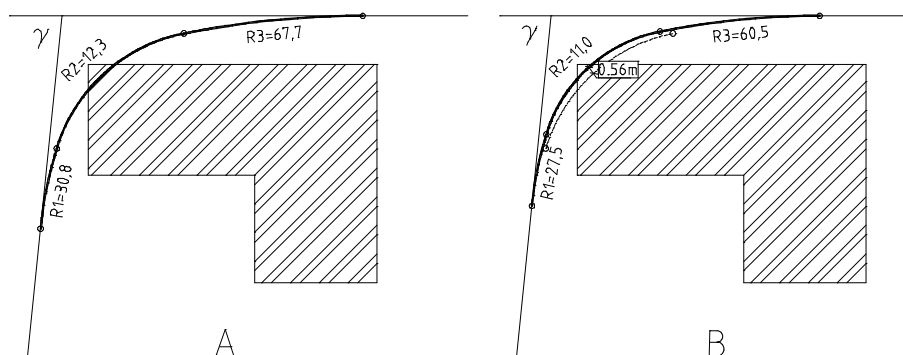


Fig. 2.5 Anvendelse af den multistatiske metode på en tilslutningskant.

Vi vil nu tage udgangspunkt i det forudgående eksempel med tilslutningskanten. Den multistatiske konstruktionsmetode kan i praksis kun anvendes i forbindelse med et CAD-anlæg pga. den automatiske udtegnings. Systemerne tager udgangspunkt i parameteren  $R_2$ , se figur 2.5, og vil derfor fungere som beskrevet for den statiske metode. Det multistatiske princip gør sig gældende ved, at  $R_2$  kan rettes relativt hurtigt ved, at en ny værdi for  $R_2$  kan indtastes i et skærm billede og en ny udtegnings herefter automatisk kan følge efter. Kravene til kontrol og efterfølgende nye beregninger forbliver dog de samme.

Der optræder ingen umiddelbar matematisk sammenhæng mellem  $\Delta R_2$  og vinklen  $\gamma$ , se figur 2.5. Teoretisk set vil en sådan sammenhæng kunne opstilles, men afhandlingen afgrænses sig fra denne matematiske problemstilling. I stedet

valgtes det at benytte en mere simpel og edb-teknisk sammenhæng, som fremgår af programdokumentationen i afsnit 5.2.

Det næste skridt - fra den multistatiske til den dynamiske metode - er meget ligetil. Alligevel er der ikke mange af de nuværende systemer, der har taget dette skridt. I det følgende beskrives først den dynamiske metode og derefter den multidynamiske metode. Herefter vil ovenstående problemstilling omkring flytningen af tilslutningskanten gennem ændringen af parameter værdien for  $R_2$  blive berørt igen.

## Dynamisk metode

Når noget er dynamisk, forstås det som værende i en tilstand, hvor det undergår en kontinuerlig forandring. Herved beskrives blot, at tilstanden til tiden  $t$  ikke er den samme eller rettere ikke nødvendigvis er den samme til tiden  $t + dt$ . Ved brug af CAD-værktøjet indebærer det, at man ændrer ét objekt, f.eks. en del af tilslutningskanten, der geometrisk ikke direkte er afhængig af tiden som beskrevet ovenfor, men af projekteringsforløbet. Ved at sætte objektet i relation til placering af systemets trådkors, kan der opnås dynamiske effekter ved at bevæge dette.

Et CAD-system er egentlig "født" med denne dynamiske mulighed. Dynamikken fremkommer ved det, man i CAD-verdenen kalder for "dragging", dvs. at man trækker objekterne, så de enten flyttes eller ændrer størrelse og form. F.eks. kan optegningen af en cirkel bestå af udpegning af centrum, med efterfølgende dragging af  $R$ . Således udpeges først cirkelns centrum, der låses fast. Herefter bestemmes radius visuelt, idet der tegnes en cirkel således, at periferien gennemløbes af trådkorset. Afstanden fra trådkorset til det udpegede center punkt bestemmer herefter størrelsen på cirkelns radius. Dette forekommer at være en elegant løsning og benyttes i andre dele af et standard CAD-system dog endnu ikke særligt meget indenfor CAD-applikationer. Relationen mellem



trådkors og objekt kan være meget komplekst, og der vil blive gjort nærmere rede herfor i programdokumentationen.

Det forhold, at der ikke findes særligt mange applikationer, der benytter den dynamiske virkemåde, skyldes sandsynligvis de store udviklingsomkostninger. Det er meget tidskrævende at udvikle dynamiske værktøjer og kræver en del teoretisk modelarbejde, idet det normalt kun er i statiske tilfælde, at funktioner og regler for geometrien er bestemt.

Definitionen på den dynamiske konstruktionsmetode i forbindelse med krydsprojektering er af principiel karakter. Metoden kan beskrives som følger:

*Ved den dynamiske konstruktionsmetode bestemmes parametervalgene samtidig med beregning og tegning under applikationsafviklingen. Men ændringer udføres kun på ét geometrisk delobjekt ad gangen i konstruktionen, og kun denne del har direkte forbindelse til applikationen og dermed til de forudsætninger, der indgår i programmet.*

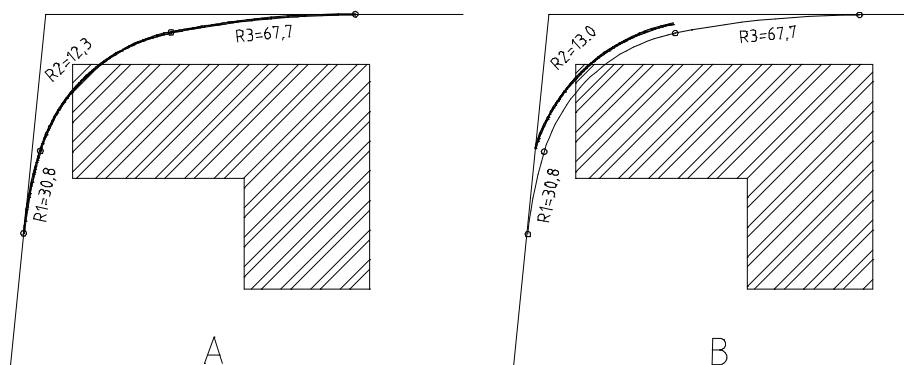


Fig. 2.6 Anvendelse af den dynamiske projekteringsmetode.

Hvis vi skal prøve at overføre den dynamiske virkemåde på det før benyttede eksempel vedr. tilslutningskanten, bliver resultatet ikke særligt brugbart i praksis. Dynamikken ville kunne anvendes på parameteren  $R_2$ , idet denne ændres

dynamisk, idet parameteren  $R_2$  bestemmes ud fra placeringen af trådkorset, hvor centrum også her er låst fast. Cirkelbuen  $R_2$  løber således til enhver tid gennem trådkorset eller et andet punkt, der på tegningen bliver markeret udover trådkorset. Dette sidstnævnte punkt vil være direkte relateret til trådkorset, se figur 2.6. Det problematiske ved denne situation i praksis er, at cirkelbuen  $R_2$  godt nok flyttes i den rigtige retning, men ændringen af størrelsen bliver forkert. Når  $R_2$  nærmer sig sit centrum bliver  $R_2$  mindre, men placeringen af cirkelbuen kræver iht. konstruktionen af en trecirkelbue, at  $R_2$  bliver større.

Yderligere bliver parametrene  $R_1$  og  $R_3$ , som skal relateres til størrelsen  $R_2$ , ikke ændret under  $R_2$ 's ændring. Relationen er i de danske vejregler givet ved et fast forhold, og det vil ved standard CAD-funktioner være muligt at tegne  $R_1$  og  $R_3$  på dette grundlag. Udover at resultatet i princippet bliver ubrugeligt, forsvinder dynamikkens funktionalitet næsten helt ved denne løsning, idet efterredigering af det tegnede bliver et omfattende arbejde.

Springet fra den statisk/multistatiske metode til den dynamisk/multidynamiske metode er større, end man umiddelbart fornemmer. Som førbeskrevet er teorien og udviklingsarbejdet for sidstnævnte metode væsentligt mere omfangsrigt, men alligevel vurderes det, at springet er nødvendigt.

## Multidynamisk metode

I afhandlingens programsystem tages skridtet fuldt ud og der anvendes en multidynamisk konstruktionsmetode. Multidynamikken er en videreudvikling af den dynamiske virkemåde på det punkt, at den geometriske konstruktion forandres samlet under et. Konstruktionen, som også kan betegnes som et objekt, kan opdeles i flere delobjekter. En ændring af de enkelte delobjekter medfører, at hele objektet ændres. I den multistatiske metode svarer det til, at man giver systemet nye parameterværdier, ud fra hvilke en nytegning foretages for hele objektet. Ved en multidynamisk ændring af konstruktionen forandres

en eller flere parametre samtidigt og kontinuerligt under bevægelsen af trådkorset. Den multidynamiske virkemåde kan derfor beskrives som følger:

*Ved den multidynamiske konstruktionsmetode bestemmes parametervalgene samtidig med beregning og tegning under applikationsafviklingen. Ændringer udføres på hele konstruktionen og dermed flere parametre samtidig, og disse ændringer har direkte forbindelse til applikationen og dermed til dens forudsætninger.*

Selvfølgelig skal det parallelt hermed som et alternativ være muligt at styre værdien af parametre direkte. Dog vil ændringer af parameter værdierne også blive præsenteret i skærbilledets menu og vil øjeblikkeligt fremgå af tegningen.

Argumenterne for denne metode er mangfoldige og i kapitel 3 vil disse blive beskrevet en for en.

Først vil vi dog afslutte eksemplet med anvendelsen af den multidynamiske metode:

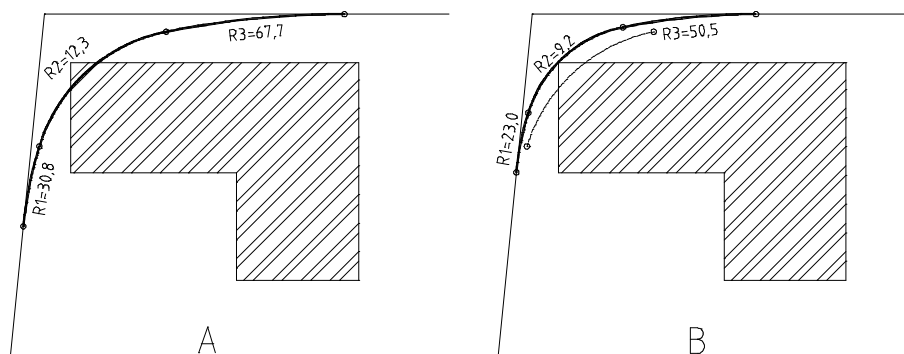


Fig. 2.7 Anvendelse af den multidynamiske projekteringsmetode.

Når den multidynamiske metode benyttes på tilslutningskantens geometriske forløb, foregår det ganske enkelt ved, at man dynamisk flytter (dragger) her

kanten. Cirkelbuen  $R_2$  flyttes som det centrale element. De tilstødende cirkelbuer med radius  $R_1$  og  $R_3$  flyttes i tilknytning til denne, så disse tre cirkelbuer vil tangere hinanden i alle situationer. De geometriske krav til fælles tangentpunkter fastholdes og ligeledes forholdet  $R_1:R_2:R_3$ .

Eksemplet ovenfor er simplificeret væsentligt, idet den multidynamiske metode vil indebære meget komplicerede geometriske beregninger, hvis der er tale om kørebanekanter i kurver. Her kræves rette liniestykker, som sættes imellem tre cirkelbuer og kørebanekanten eller en iterativ løsning, der bestemmer  $R_1$  og  $R_3$ -buenes tangentpunkter på de kurvede kørebanekanter. For den konkrete løsning af ovenstående problemstilling henvises til programdokumentationen i kapitel 5. Her er der også gjort rede for de programtekniske detaljer.

# 3

## Multidynamisk design

---

Det følgende kapitel vil beskrive filosofien bag den multidynamiske designmetode. Dette gøres udfra forskellige synsvinkler, dvs. både den rent praktiske, og den mere teoretiske, hvor menneskets opfattelsesevne og beslutningsevne berøres. Kapitlet afsluttes med et afsnit, hvori nogle ikke helt uproblematisk konsekvenser ved valg af den multidynamiske metode diskuteres.

## 3.1 Designfilosofi

Formålet med det følgende afsnit er, ud fra både en teoretisk og især en praktisk synsvinkel at dokumentere fordelene ved, at en ingeniør eller teknisk assistent (brugeren) udnytter den multidynamiske metode til i højere grad at arbejde visuelt i projekteringsforløbet end hidtil.

På grundlag af det umiddelbare visuelle indtryk af det tegnede/konstruerede afgør brugeren, hvorvidt der er behov for at korrigere den optrædende geometriske løsning eller ej. Dette visuelle indtryk er gjort både mere vanskeligt og lettere på én gang ved indførelsen af CAD i projekteringen. Det vanskelige ligger i, at de store fine tegninger, der typisk for vejprojekter er meget aflange og indeholder omfangsrige geometriske elementer (linieføring og længdeprofil), skal placeres på en lille skærm. Dette forhold gør det vanskeligt at projektere med fastholdelse af et korrekt visuelt indtryk. Det bør dog understreges, at en øvet projekterende ingeniør uden større problemer vil være i stand til at abstrahere fra dette forhold.

For den øvede opnås der til gengæld muligheder for en lettere tilgang til den visuelle fremstilling, idet CAD-systemets faciliteter giver mulighed for at forstørre vigtige detaljer op i en overmålestok. Dette kan så til gengæld lokke til at indføre ekstremt pedantiske nøjagtighedskrav som ligger langt ud over det praktisk mulige eller rimelige. Andre CAD-faciliteter i programmet giver mulighed for at få informationer om alle de tegnede objekter og delobjekter. Det er således muligt at få oplysning om et objekts eksakte placering i rummet med koordinater og globale vinkeldrejninger, samt om geometriske dimensioner og rent tegnetekniske oplysninger såsom farver, strectype og strektykkelse.

Designeren - dvs. ingeniøren eller den tekniske assistent - skal hele tiden tage stilling til det videre forløb i en optegning. Hvad skal tegnes først? Hvad skal tegnes, før noget andet kan tegnes? Hvilke hjælpemidler er der til rådighed? Hvilke informationer savnes? Kan disse informationer allerede bestemmes nu,

eller må man vente, til dele af tegningen er færdig? Hertil kommer, at nogle parameterstørrelser skal beregnes ved hjælp af formler. Tegningslayoutet skal bestemmes med henblik på valg af papirstørrelse, penfarve og streghøjde og placering af de enkelte tegningsobjekter og placeringen af tegningshovedet. På en papirtegning skal målestokken vælges rigtig førstegang, mens dette i edb-mediet er underordnet, fordi man altid arbejder med nøjagtigheden svarende til målestoksforholdet 1:1. Udsnittet på skærmen bestemmer det rent visuelle målforhold i skærbilledet, først ved start af selve udtegningen vælges det målforhold, udtegningen ønskes præsenteret i.

Dette er dog en sandhed med modifikationer, idet tekster på en tegning blot er streger, og de håndteres ikke af systemet som egentlig tekst ved en udplotning. Dette betyder eksempelvis, at tekststørrelsen, som man måske i første omgang valgte til en iso 35 (0,35mm pentykkelse og 3,5mm skriftøjde) ved et tænk målestoksforhold på 1:1000, ved en udplotning på 1:500, bliver 7,0mm - altså dobbelt så stor, hvilket er ganske uønsket.

Ovenstående eksempel skulle blot illustrere nogle af de mange overvejelser, en designer eller tegner skal igennem, inden der er noget resultat at se på papiret eller skærmen. Overgangen fra papir til edb er meget krævende. I det følgende beskrives nogle af aspekterne ved denne omstilling, for derigennem at underbygge argumentationen omkring betydningen af og mulighederne i de visuelle og intuitive projektering.

Arbejder man ved tegnebordet, har man stort set alle sine rekvisitter, dvs blyant, lineal m.v. liggende foran sig indenfor øjen- og rækkevidde. Selv tegningen fylder, i hvert fald i bredden, det meste af tegnebordet, men kan alligevel overskues. Skifter man nu til edb, vil rekvisitterne være gemt bagved flere menuer med en masse uforståelig tekst. Der erf.eks. ikke vist en blyant, men en cirkelbue, eller ret linie. Dette kræver en helt anden måde at tænke på. Yderligere er den nye måde endda blevet umiddelbart uoverskueligt, idet tegneredskaberne er gemt væk bagved et "skærbillede". Donald A. Norman skrev i 1990 /Laurel, 1990/:

*"The real problem with the interfaces is that it is an interface. Interfaces get in the way. I don't want to focus my energies on an interface. I want to focus on the job"<sup>1</sup>.*

Disse sætninger udtrykker meget præcist denne afhandlings tanker omkring krydsprojekteringssystemet, men også om CAD-systemet som helhed. Den højglanspolerede overflade og alle de fine tegnefunktioner, der er gent systematisk væk bag denne overflade i en - i princippet - logisk orden, er det egentlige problem for nogle mennesker/brugere.

## **Hammeren som værktøj**

For at give en yderligere forklaring på interface-problemet gengives i de følgende Pelle Ehn's beskrivelse af hammeren som værktøj /Ehn, 1989/. De fleste mennesker kender en hammer og ved, hvad den skal bruges til. Når man bruger hammeren, tænker man ikke over, at det er en hammer, man har i hånden - lige til det tidspunkt, hvor det går galt og man slår sig over fingeren. På den måde ledes ens opmærksomhed fra f.eks. sømmet og billedet, til det værktøj man bruger, hvor det ellers hidtil ikke blev skænket nogen tanke, fordi det var et gammelkendt værktøj. Det er sådan et værktøj bør opfattes - det skal blot være til stede. Det skal ikke, som edb har for vane, tiltrække hele opmærksomheden, så man helt glemmer, hvad det er, man bruger værktøjet til. For det projekteringssystem der er beskrevet i kapitel 4, indebærer dette princip, at værktøjet skal være til stede, men det må ikke optage brugers opmærksomhed, idet denne ene og alene skal koncentrere sig om at konstruere et vejkryds. Dette kan kun opnås ved et let tilgængeligt og ekstremt interaktivt program, der nærmest blot følger brugerens intuition. Herved kan brugeren udnytte alle kræfter på at designe, og ikke så meget på at forstå et værktøjs funktioner. Disse skal blot være til rådighed og let tilgængelig.

---

<sup>1</sup>Why interfaces Don't Work. P 209-221.

---



Umiddelbart kan det være svært for den øvede bruger at se, hvordan det skulle kunne være anderledes, når vedkommende først har vænnet sig til det nye værktøj og formålet at finde de fleste relevante funktioner i programmet, og yderligere har fundet ud af - i store træk - hvordan disse funktioner virker. Med dagens teknik er det muligt at designe et CAD-system, som ligger meget tæt på den måde, man arbejder manuelt i dag. Dog vil det på kort sigt være ekstremt dyrt at udvikle programmerne og derfor ret bekosteligt at købe disse. Tilbage står nogle "gamle" edb-maskiner og en gammeldags programsystemudvikling, samt en hel del frustrerede brugere. Disse havde måske nok forestillet sig omstillingen til edb lidt lettere end det at skulle investere i hundredevis af kostbare undervisningstimer og konsulenttimer. Man kunne fremsætte den påstand, at hvis programmerne fra starten havde været designet "rigtigt" og dermed været umiddelbart tilgængelig som det første krav, ville ca. 50% af alle edb-udgifterne i mange virksomheder have været sparet - såvel i den private som i den offentlige sektor. Desværre bruges der mange kræfter og ressourcer på at få edb "til at køre", at finde bestemte funktioner i et program, samt at finde ud af, hvorfor systemet melder fejl, når nu man er 120% sikker på, at ingen fejl er begået. Interfacedesign er imidlertid en videnskab for sig, og i edb-branchen er alle idag af den opfattelse, at tendensen går i retning af Apples system 7, Windows, Motive, Next og tilsvarende. Men programmerne er kun en skal, og problemet med brugen af f.eks. CAD-systemet er stadigvæk ikke løst.

IBM kom i nov. '93 med deres nyeste bud på CAD-design. I artiklen "Genvejen til hurtigere og bedre produkter<sup>2</sup>" beskrives et såkaldt "videnbaseret engineering system". Systemet er baseret på en "produktmodel", der udover selve tegningen også indeholder relevante informationer om produktet. Indenfor maskindesign stilles der selvfølgelig andre krav til produktet end blot geometriske. Men den grundlæggende filosofi ville uden videre kunne overføres til et CAD-system i geometrisk vejprojektering. Reelt er der også indenfor maskindesign tale om en parametrisk konstruktionsmetode bestående af et sæt regler og inddata svarende til det, der i kapitel 2 blev beskrevet som den multistatiske designmetode.

---

<sup>2</sup>Technical Forum, nov. 1993, udgivet af IBM danmark afd. for Technical workstations.

---

Man kunne hævde, at netop den geometriske udformning af vejkryds ville være et oplagt emne for en parametrisk konstruktionsmetode, som kan sidestilles med den i afsnit 2.5 definerede multistatistiske designmetode. Problemet dukker heller ikke op umiddelbart, men imidlertid viser den parametrisk konstruktionsmetode sig ikke at være særlig brugervenlig. Den består af at kombinere et regnearksprogram med et CAD-program, koble et databasessystem til og pynte hele herligheden op med et vindue-brugersystem, såsom Windows fra firmaet Microsoft. At resultatet heraf ikke fremtræder som brugervenligt, er ikke ensbetydende med, at det behøver at være en dårlig idé. I tilknytning til de tidligere nævnte problemstillinger vedrørende interfacedesign, forekommer metoden imidlertid ikke særlig kreativ eller hensigtsmæssig. Det bør understreges, at man sandsynligvis ikke vil kunne undvære parametre i længden, og det gør det i kapitel 5 beskrevne programsystem da heller ikke. Men man bør undgå dem i så stor udstrækning som muligt. Med andre ord kan tilgang til parametre kun anbefales, i det omfang der er behov herfor. Hovedprincippet bør være, at der kan konstrueres frit, uden at programmet lægger ud med, at der skal tages stilling til en stor mængde parametre og valgmuligheder, inden brugeren ser hovedkonturerne i den geometriske løsning.

Vi er nu fremme ved et af hovedargumenterne for den multidynamiske metode i denne afhandling. Parameterløs geometrisk konstruktion lyder imidlertid selvmodsigende, fordi en konstruktions dimensioner på den ene eller anden måde bestemmes ud fra størrelsen af et sæt parametre. Hvordan skulle man så kunne konstruere parameterløst? Ved parameterløs konstruktion forstås ikke her, at man konstruerer uden brug af parametre. Dette ville også med baggrund i ovenstående være meningsløst, idet netop dimensionerne på konstruktionen udtrykkes gennem et sæt parameterværdier. Med parameterløs konstruktion forstås heller ikke, at man nærmest tegner og designer i fri hånd. Parameterløs konstruktion indebærer derimod, at parametrene optræder i en sekundær rolle under designfasen. Mennesket tænker ofte i billeder - ikke i tal. Hvorfor skal hjernen bruge en masse energi på at konvertere tal til billeder (fra parameter til design), og på at konvertere edb som værktøjet til papir og blyant? I stedet må designfasen give plads til kreativitet, og denne fase må derfor ikke forstyrres af "sekundære" forhold. Den måde, hvorpå det i afhandlingen præsenteres

projekteringssystem skal hjælpe til med at understøtte det visuelle kreative arbejde, er ved løbende at vise, hvordan den geometriske konstruktion ser ud. Dette princip indebærer, at man udpeger, hvad man ønsker at ændre. Dette sker ikke ved at ændre på en parameter i vinduesmenuen, men ved at ændre inde på selve tegningen på skærmen. Herved kan brugeren direkte se, hvad der sker af forandringer med konstruktionen, når man begynder at flytte dele af den. Ved at benytte den multidynamiske designmetode stimuleres kreativiteten yderligere, idet man kan designe sig frem til løsninger, som et parameterstyret system ikke tillader, idet dette kun arbejder indenfor programmets faste rammer. Den multidynamiske metode betjenes af et systemprogram, der er opbygget af forskellige værktøjer, der kan anvendes på de steder, man ønsker. Selvfølgelig ligger der også her begrænsninger i valg af den geometriske udformning, men disse er ikke nær så udprægede som ved den parametriske metode.

Det kan hævdes, at når først den projekterende har prøvet at arbejde visuelt på denne måde og har set, hvor enkel en arbejdsproces det er at konstruere og samtidig føle selv at have styr på designfasen, ønsker denne sig ikke andet. Formålet med MIK-systemet beskrevet i kapitlerne 4 og 5 er at kontrollere og styre den geometriske konstruktion, ved hjælp af programenheder, der er specialudviklet til projektering indenfor vejbygning, idet systemet er beregnet til at konstruere vejkryds og ikke eksempelvis maskiner. Dette indebærer, at designfasen for et kryds vil være opdelt i faser, som individuelt styres af individuelle programmer, men til dels på et fælles datagrundlag. Det man således ser på skærmen, er en fleksibel konstruktion, der tegnes efter ertsat vejregler med en geometrisk og funktionel sammenhæng i henhold til de indgående parametre.

Ved en dynamisk forandring af konstruktionen bevæger den projekterende sig ofte udenfor vejreglernes angivelser. Imidlertid er vejreglerne kun vejledende og på ingen måde normgivende (med undtagelse af, at der kræves en sekundærhjul, når der etableres venstresvingsbane på primærvejen). Efter vejreglernes statiske metode ville den projekterende ingeniør i hovedreglen selv skulle afgøre, hvornår en konstruktion var korrekt tegnet og hvornår den evt. ikke var det. Ved at arbejde visuelt er det ikke blevet mere vanskeligt at afgøre, hvornår

en konstruktion er tegnet korrekt eller ikke. Ved en parametrisk styret konstruktion, dvs. ved anvendelsen af det multistatiske princip, kan det til gengæld frygtes, at den projekterende mister jordforbindelsen og overlader alt for meget af designfasen til systemet. Den visuelle metode indebærer derimod som nævnt, at man arbejder med mindre dele af konstruktionen ad gangen. Dette er ikke strengt nødvendigt af programtekniske årsager, idet programmets "værktøjskasse" selv vil kunne kræve relevante oplysninger af brugeren og herefter udtegne hele krydset på én gang. Der bør peges på, at der er et faremoment forbundet med denne form for ad hoc konstruktion. Den projekterende bliver "forblændet" og kan ikke være sikker på, at alle dele af konstruktionen er rigtige.

Ved en afprøvning af det tidligere omtalte WINKRYSS-program viste det sig f.eks. at programmet ikke kunne klare, at centerlinien for primærvejen indeholdt klotoider. For det blotte øje viste der sig ingen fejl umiddelbart. Men ved at hente ti-tabellerne ind i NovaCAD og begynde at studere resultatet nærmere (ved at zoome kraftigt op) kunne fejlen opdages. (Fejlen skulle i øvrigt være rettet i dag). Eksempelvis indebærer det system, der er opbygget ud fra den multistatiske konstruktionsmetode på Intergraph, at der optræder hele 350 parametre - heraf alene 100 parametre til bestemmelse af geometrien i krydset. Da hovedparten, dvs. ca. 95%, af parametrenes værdier er valgt svarende til en bestemt standard, kan det være vanskeligt, at afgøre, om konstruktionen egentlig udgør det resultat, den projekterende ønsker. Hvis der tegnes med brug af en "værktøjskasse", kommer brugeren derimod rundt i hele krydset og kan her afgøre, om krydset hænger ordentligt sammen rent geometrisk og funktionsmæssigt.

Det programsystem, som beskrives i denne afhandling, vil ligeledes gøre det muligt at få optegnet et helt kryds på én gang, men man bør være forbeholden overfor et sådant værktøj eller en sådan facilitet. I enkelte tilfælde vil det kunne være en fordel - bl.a. i skitseringsfasen, hvor den projekterende blot ønsker at fremstille en hurtig, foreløbig løsning. Men ved detailprojekteringen bør man holde fast ved glæden ved at arbejde med et stykke designværktøj, der ikke gør

det hele til en simpel tegnerutine, som man reelt ikke ved, hvad indebærer af forudsætninger og funktionelle krav.

Dette er et generelt problem med edb, som her kun vil blive berørt sporadisk. Der eksisterer kun meget lidt viden om, hvordan edb griber ind i den enkeltes hverdag og arbejdsrutiner. Når en undersøgelse er afsluttet og rapporten offentliggjort, vil undersøgelsens resultater meget hurtigt være forældede, fordi mønstret ændrer sig kontinuerligt. Modstandere bliver til tilhængere, når først de lærer teknikken og har oplevet de første succeser ved maskinen, nye programmer gør op med gamle skrøner osv. Det er ligesom den sunde skepsis bliver overhalet af nye programmer, nye hurtigere maskiner med endnu større ydeevne og nye overbevisende demonstrationer, der i overtalelsesevne reelt ikke står tilbage for dyre TV-reklamer. Det virker meget overbevisende at kunne putte data ind i noget der svarer til en "black box" og få et resultat, der faktisk ligner det man ønsker eller som man i det mindste havde regnet med at nå frem til.

Reelt er der her tale om det fænomen, Karl Marx i "Das Kapital" beskrev som fremmedgørelse. Marx beskrev industrialismen, hvor arbejderen stod ved et samlebånd og monterede en lille del på en anden lidt større del af et stort hele, som han reelt ikke vidste, hvad var. I edb-verdenen ved vi ikke, hvad der er i maskinerne, dvs. hvad programmerne reelt gør. På overfladen ser alt rosenrødt ud - som oftest - men indflydelsen på tilblivelsen af en tegning forsvinder mere og mere. Man lægger store dele af sin viden på hylden og benytter programmet, der klarer de gentagne trivielle rutiner 100 gange hurtigere.

Ovenstående betragtning har selvfølgelig til hensigt at fremhæve eller argumentere for den multidynamiske arbejdsmetode og det programsystem, som er udviklet på baggrund af denne metode og er genstand for denne afhandling. Filosofien bag dette system er netop at fremme den kreative proces og kun at lade programsystemet hjælpe med denne proces, ikke erstatte den. Nogle af de dele af programsystemet, der understøtter den kreative proces, ligger også værktøjsskassen, idet krydset skabes ved syntese af de enkelte dele. I denne forbindelse kan Prof. Jozsef Hatvany fra Budapest citeres:

*"The decomposition of creative intellectual activities into analytical disciplines risks missing their very essence".*

Dette var Hatvany's første sætning på en konference<sup>3</sup>, der omhandlede designteori. Det er en del år siden, men mens de andre konferencedeltagere var betaget af tegneapparaturets enkeltbestanddele, så Hatvany nødvendigheden af at se design som en helhed (holistisk). Det var tydeligt at læse blandt de forskellige indlæg, at Hatvany var en edb-bruger ikke programudvikler. Han ser således en stor fare ved at opdele designprocessen i meget små dele som eksempelvis streger og buer. I programsystemet i denne afhandling sker der ganske vist en opdeling af designprocessen, men dette gøres i sammenhængende objekter, der i sig selv udgør et hele. Herved kan kreativiteten bevares under brug af systemet.

Men programsystemet vil samtidig med sine begrænsninger tildels og implicit hæmme denne proces, idet der også i systemet er indbygget en form for ekspertviden. Denne viden tillader kun det sæt af instruktioner og tegningsmuligheder, som ligger indenfor vejreglernes rammer.

Alligevel er det denne afhandlings hovedpåstand, at det i kapitel 5 beskrevne programsystem er den rigtige vej frem. På trods af al den negative snak om edb og fremmedgørelse ved alle godt, at teknologien er kommet for at blive - og ikke nok med det - den udvikles med rasende fart. Her er det imidlertid vigtigt at øve indflydelse på denne udvikling og være med til at bestemme, i hvilken retning den skal gå. I denne sammenhæng kommer det nye programsystem ind i billedet med dets filosofi om dynamisk, interaktiv og visuel design, dvs inddragelse af tre gode principper med hver deres egen betydning. For at underbygge påstanden om den visuelle designmetodes fortrin yderligere, kan man give det hele en lidt filosofisk drejning og citere fra brødrene Dreyfus' bog "Intuitiv ekspertise" /Dreyfus, 1991/. Heri gøres der op med kunstig intelligens, idet menneskets tænkemåde i beslutningssituationen analyseres. Bogen kan

---

<sup>3</sup>The IFIP WG 5.2 Working Conference on Design Theory for CAD, Tokyo, Japan, 1-3 oktober, 1985.

---

varmt anbefales for både edb-skeptikere og entusiaster. I det følgende er der citeret et udpluk af bogen, der beskriver menneskets indlæring. Dreyfus brødrene opdeler et menneskes færdighedsniveau i fem stadier. Disse beskrives som angivet i følgende oversigt:

Stadium	Karakteristika
1. Nybegynderen	<p>Gennem indlæring lærer nybegynderen at genkende forskellige objektive kendsgerninger og træk, der er relevante for den pågældende færdighed og tilegner sig regler, der kan diktere handlinger baseret på disse kendsgerninger og træk.</p> <p>Elementer bliver klart og objektivt defineret, så disse genkendes uden reference til den sammenhæng de indgår i. De bliver altså defineret kontekstfrie. For at erkende elementernes betydning kræves en informationsbehandling i modsætning til genkendelse.</p>
2. Den avancerede begynder	<p>Sammen med den kontekstfrie, objektive erkendelse kommer en erkendelse, der er situationsbestemt. Dvs. den første mønstergenkendelse - i form af ligheder med tidligere oplevede situationer - finder sted.</p>
3. Den kompetente	<p>Antallet af kontekstfrie og situationsbetingede elementer er blevet overvældende, men fornemmelsen af, hvad der er væsentligt, mangler stadig.</p>
4. Den kyndige	<p>På basis af tidligere erfaring opfatter den kyndige intuitivt, men beslutter tildels efter overvejelser af opfattede alternativer.</p>

5. Eksperten	<p>Når alt forløber normalt, så løser eksperter ikke problemer eller træffer afgørelser: de gør, hvad der plejer at virke.</p> <p>Et valg eller en reaktion på et nyt problem bliver truffet på baggrund af en intuition ikke på baggrund af en fornuftspræget rationel beslutning.</p> <p>En ekspert føler problemet og handler derefter. Følelserne er blevet opbygget af en umådelig stor mængde erfaring, der blandt andet har gennemgået de første fire stadiers udvikling.</p>
-----------------	--

Evnen til "*intuitivt at reagere på mønstre*" uden at opløse dem i deres bestanddele kalder Dreyfus-brødrene for "*holistisk skelnen og association*".

Denne erkendelse er meget vigtig i denne afhandlings systemfilosofi. At opløse i bestanddele ville her betyde, at vejrydset deles op i dets enkelte designparametre. "Intuitivt at reagere på mønstre" består derimod i genkendelsen af krydset, som man har set det tidligere. Holistisk skelnen - eller med andre ord visuel perception - er en grundpille i programsystemet. Ser man på de fem færdighedsniveauer, må man så spørge sig, hvor godt denne filosofi passer ind i arbejdsituationen hos et amtsvejvæsen eller andre vejprojekterende instanser. Hvornår har den enkelte projekterende opnået et færdighedsniveau, der giver muligheder for visuel perception i designsammenhæng?

En nybagt ingeniørkandidat vil næppe have mulighed for fra starten at komme op på dette niveau, og dette ville heller ikke blive krævet af vedkommende. Hvor mange kryds skal man have tegnet? Det vil selvfølgelig afhænge af mange forhold ikke mindst af den enkelte ingeniørs evner. Det følgende bygger på forfatterens personlige erfaring<sup>4</sup> og dermed på den udokumenterede påstand, at

---

<sup>4</sup>Projekteringerfaring fra perioden 1988-1991 og kontakter i amtsvejvæsenene i forbindelse med CAD-systemet NovaCAD frem til dags dato.

---



en vejingeniør med få års erfaring vil have oparbejdet et kyndighedsniveau, der vil få vedkommende til at arbejde visuelt i stedet for med designparametre, hvis muligheden herfor var givet. Hvis vi forudsætter, at en ingeniørs virketid ligger indenfor aldersintervallet fra ca. 25 til 65 år, ville det ved en gennemsnitlig erfaringsopbygning på 4 år være 90% ( $1,0 - 4/40$  år) af de aktive ingeniører, der vil kunne arbejde mere eller mindre intuitivt på ekspert niveau.

Tallet virker måske lidt overvældende, men understreges ved, at alderspuklen i den danske vejsektor har nået nye højder igennem flere års konjunkturedgang og offentlige nedskæringer. "Ingeniørpuklen" indenfor vejektoren blev etableret i perioden fra ca. 1965-1973. Dette betyder, at de fleste ingeniører i vejsektoren har rundet 50års-alderen i dag. En undersøgelse på Nordjyllands Amt foretaget i 1989 viste, at gennemsnitsalderen i hele vejforvaltningen incl. unge praktikanter og sekretærer lå på over 40 år. Det kan således konkluderes, at ingeniører indenfor vejsektoren i dag i princippet skulle have tilstrækkelig erfaring til at kunne projektere udfra den holistiske skelnen og association.

Den holistiske erkendelse benyttes i programmet til at arbejde med dele af krydsprojekteringen interaktivt (jfr. kapitel 4). Med få udpegninger med trådkorset får man noget på skærmen, godt nok ikke nødvendigvis i korrekt form, men noget man genkender. Der mangler stadigvæk præcisering af nogle af værdierne for de væsentlige parametre, som man i multistatiske systeme sætter ind i skærbilleder/menuer.

Et konkret eksempel er ønsket om at tegne en sekundærhelle i et vejkryds. I et multistatisk system udpeger man centerlinier for primærvej og sekundærvej, og man giver programsystemet oplysninger om forskellige vejdimensioner, som skal vælges fra starten af. Dette gælder for bredden af gennemkørende spor, svingspor, hellebredder osv. Når man har været alle menuer igennem, får man noget på skærmen, som ser geometrisk korrekt ud.

I denne afhandlings programsystem peger man ligeledes på sekundærvejens centerlinie, som her kan være et foreløbigt stregforløb og på primærvejens centerlinie. For at fastlægge afstanden fra centerlinien hen til kørebanelantæ

benyttes en standardværdi af køresporets bredde. Herefter udtegnes en sekundærhelle. Tilslutningen til primærvejen fastsættes herefter interaktivt. Man behøver her ikke tænke på vejdimensioner, men blot at tegne en skitse, så det ser "rigtigt" ud. Man kan altid ændre på det bagefter. Hellespidsen fjernest fra primærvejen placeres, så den får et "fornuftigt" forløb. Måske trækkes den lidt længere bagud for bedre at markere hellen i en kurvetsekundærvej. Helletoppen nærmest primærvejen placeres herefter med ensådan afstand til kørebane kanten på primærvejen, at behov for f.eks. at placere en cykelbane foran hellen eller igennem hellen kan efterkommes. Den projekterende har stadigvæk ikke haft berøring med et eneste tal. Disse oplyses perifert af systemet i højre skærm menu for at give yderligere information og kontrolmuligheder. Under hele processen ser man hellen foran sig. Ændrer man noget, sker dette dynamisk, og helle's udformning fremgår hele tiden geometrisk korrekt på skærmen. Processen skal prøves. Man ser hele tiden - dvs. skelner holistisk - de forandringer og alternative konstruktioner, der fremstår. Det er på denne måde, at den kreative designproces kan bibeholdes ved CAD-projekteringen.

## 3.2 Designmetodens præmisser

Ved den multidynamiske designmetode sættes fleksibilitet og kreativitet i højsædet, men dette medfører nogle konsekvenser for geometrien. Disse kan komme i konflikt med vejreglernes regelsæt. Ved udgivelsen af vejreglerne for kryds i det åbne land i 1983 var der med sikkerhed ingen, der havde skænket en designmetode som præsenteret i dette kapitel nogen tanke. Formålet med udgivelsen af vejreglerne var på daværende tidspunkt udarbejdelsen af et sæt retningslinier, der skulle give mulighed for at konstruere et kryds manuelt under opfyldelse af visse funktionskrav. Samtidig har intentionerne ved udgivelsen været, at dette materiale skulle sikre en ensartet udformning af kryds over hele landet, så trafikanterne møder ensartede forhold, uanset hvor i landet de befinder sig.

Det bliver vanskeligt i det multidynamiske system at efterkomme disse intentioner, idet systemet netop forlader det statiske princip og på letteste vis giver mulighed for udformning af konstruktioner, som f.eks. ikke kan kategoriseres under betegnelserne "lille" eller "store" helle. Den principielle udformning ændres der ganske vist ikke ved, men dimensionerne for de forskellige konstruktionsdele i et kryds kan variere meget. I samme åndedræt skal det dog atter fastslås, at man også i dag konstruerer kryds, der ikke kan findes i vejreglerne under den ene eller anden betegnelse. Disse kryds etableres typisk i byområder og andre steder i det åbne land, hvor snævre pladsforhold gør sig gældende. Netop disse forhold, og ønsket om at tilgodese muligheden for fleksible udformninger, er udgangspunktet for den multidynamiske designmetode. Disse fremgår tildels af de kravspecifikationer, der er beskrevet i appendiks A4.

Dermed er det ikke givet, at det er i formel overensstemmelse med vejreglerne at projektere andre konstruktionsudformninger. Argumentationen om ensartede kryds begynder at falme i lyset af denne projekteringspraksis. Alligevel kan der være betæneligheder forbundet ved at udvikle et værktøj, der kan øge udbredelsen af krydsudformninger med meget uensartede størrelser på de geometriske elementer i krydset.

Hovedsynspunktet er i denne forbindelse, at det er vejreglerne som trænger til en revidering. Denne revidering kunne gå ud på at beskrive nogle hovedretningslinier i form og omtrentlige størrelser for krydsets dele. Dette synspunkt er hentet fra de tyske vejregler og fra en artikel i det tyske vejtidsskrift "Straße + Autobahn".

De danske vejregler opfordrer kun i beskedent omfang til at kontrollere krydsets konstruerede dele visuelt, mens de tyske vejregler /RAS-K-1, 1988/ derimod gentagne gange opfordrer til visuel kontrol af geometrien. De tyske vejregler beskriver i større omfang hovedretningslinierne og giver mange eksempler på forskellige krydsudformninger, hvorimod der ikke gøres så meget ud af at vejlede i, hvordan selve den geometriske konstruktion skal bygges op.

I forbindelse med udbygningen af vejinfrastrukturen i Østtyskland efter genforeningen 1989 er der i en tysk artikel<sup>5</sup> gjort rede for, hvorledes de oprindelige regler kan fraviges og hvorledes den visuelle kontrol skal opprioriteres. Her tillades det, at ingeniører konstruerer heller, der f.eks. ikke overholder mindstebredden og vælger kurveradier, der er mindre end egentlig ønskeligt. Med et multidynamisk værktøj i hånden kan disse konstruktioner foretages meget elegant, idet man hele tiden kan følge konstruktionens udstrækning og udformning på skærmen.

---

<sup>5</sup>Straße + Autobahn 9/93, siderne 517 - 524, Die Anwendung der Entwurfsrichtlinien beim Um- und Ausbau der Straßen in den neuen Bundesländern, Günther Weise

---

## Frihed og begrænsning

Samtidig med at systemet giver en stor frihed ved design af kryds, er det nødvendigt med begrænsninger, som hindrer uhensigtsmæssige konstruktioner, der på ingen måde opfylder de krævede funktionskrav. Da systemet ikke har mulighed for (endnu) at kontrollere funktionskravene i krydset, må den projekterende opfordres til behersket brug af de multidynamiske funktioner, og til at gennemføre en streng kontrol af om de givne funktionskrav for krydset er opfyldte. Begrænsningerne i systemet ligger omkring de geometriske krav, idet valg af forskellige størrelser i krydset ville kunne medføre en konstruktion, som ikke opfylder de stillede funktionskrav til krydset. Udfrå de givne konstruktionsvejledninger, der er indbygget i programmet, kan det således kun lade sig gøre at bevæge sig indenfor nogle bestemte geometriske rammer.

## Brugen af designmetoden

En anden væsentlig konsekvens af den multidynamisk designmetode er selve brugen af den. Selvsom de andre designmetoder, der er beskrevet i afsnit 2.5, blev kritiseret for deres uhensigtsmæssigheder, er det givet, at mange har vænnet sig til at arbejde på denne måde, fordi de fleste systemer forudsætter dette. Med andre ord vil der kunne opstå problemer, når nu man pludselig skal til at tænke på en anden måde. Følgende to eksempler illustrerer dette problem:

I et almindeligt CAD-system, som eksempelvis Intergraph eller AutoCAD vælger man først den kommando, der ønskes udført, og derefter vælges hvilket eller hvilke elementer, man ønsker denne kommando udført på. I et nylig omtalt CAD-system, som en edb-skribent i ugebladet Ingeniøren afprøvede virkede funktionen omvendt. Først pegede man på det element eller de elementer, man ønskede gjort noget ved. Derefter valgtes så den kommando man ønskede udført på dette eller disse elementer. Skribenten blev så forundret og samtidig så begejstret, at han brugte megen spalteplads på at beskrive dette

fænomen og konkluderede, at den var meget smart på mange områder. En lignende funktion er indbygget i NovaCAD.

Således kan krydsprojekteringssystemet præsenteret her i afhandlingen aktiveres med NovaCAD's NCO-funktion (NovaCAD Objekt). NCO-funktionen virker ved, at man først peger på funktionen NCO, som er placeret nederst i højre skærmmenu adskilt lidt fra de andre CAD-funktioner, og derefter på det objekt i skærmen, man ønsker at ændre. NCO vil automatisk registrere, hvilket objekt, der er tale om, og hvilken applikation, der har oprettet dette objekt. Peger der eksempelvis på en sekundærhelle, vil applikationen, der giver ændringsmuligheder for denne, startes og vise hvilke ændringer, der er mulighed for at udføre i denne situation.

Brugere af Windows brugergrænsefladen (interface), der som en programskal ligger oven på DOS-operativsystemet, og Apples brugergrænseflade kræver ligeledes en del tilvænning. Dette skyldes at man i storudstrækning anvender de gamle vaner fra DOS-operativsystemet ved f.eks. kopiering, opstart af programmer m.m. Apple er på dette område kommet en hel del længere end Windows er, men Windows er så småt ved at komme op på Apples niveau. Hvor man tidligere har været vant til at kopiere en fil fra et sted til et andet ved at indtaste kommandoer på en kommandolinie, så flytter man i de "nye" systemer blot dokumentet visuelt på skærmen fra den ene lokalitet til den anden. Eller man starter et program op ved at trække det dokument, man ønsker bearbejdet henover ikonet for det aktuelle program. Alternativt dobbeltklikker man blot på dokumentet, der så automatisk starter det rigtige program op. Dette forekommer at være en arbejds metode med store fordele. Men uanset hvor ligetil den forekommer, kræver den tilvænning. Til gengæld gør det visuelle princip det muligt at lære denne arbejds metode hurtigere, fordi netop denne arbejds metode ligger nærmere menneskets intuitive tankegang.

## Systemet i brug

Der vil med sikkerhed vise sig flere konsekvenser af den multidynamiske designmetode, som det på nuværende tidspunkt kan være vanskeligt at få øje på, og først vil vise sig i detøjeblik systemet for alvor er i brug. Men udfra den her præsenterede argumentation for en visuel, interaktiv og intuitiv arbejdsmetode, vurderes det, at disse endnu ukendte konsekvenser vil få svært ved at overskygge de åbenlyse fordele ved den multidynamiske designmetode.

# 4

## MIK-Program- beskrivelse

---

I dette kapitel præsenteres det Multidynamiske Intelligente Krydskonstruktionsprogram, forkortet MIK. Det følgende indeholder først en beskrivelse af, hvad der ligger til grund for systemet, dvs. hvilke forudsætninger det arbejder ud fra. Herefter beskrives, hvordan programmet rent principielt er opbygget og hvilke funktionsmæssige krav, der forventes til programmet, især set i lyset af de krav, som den multidynamiske designmetoden fører med sig.

### 4.1 Forudsætninger

---



MIK tager i første omgang udgangspunkt i de danske vejregler for kryds i det åbne land. Da dette ikke er tilstrækkeligt, gøres der også rede for på hvilke områder programmet følger de retningslinier og geometriske gyldighedsområder, som vejreglerne dækker.

### **Tilslutningskanten mellem sekundærvej og primærvej**

Med henblik på bestemmelse af geometrien for tilslutningskanterne tages de udgangspunkt i de tyske vejregler, idet disse indeholder formler for beregning af tangentlængder og indrykning gældende for den tre-cirkelbue, som normalt vælges ifølge de danske vejregler for kryds i åbent land. De danske vejregler benytter principielt de samme udtryk som de tyske, idet udgangspunktet dog er et andet. I de danske vejregler er der således udviklet specielle udtryk til bestemmelse af den midterste cirkelbue med radius  $R_2$ . Nedenfor er vist tre forskellige eksempler på, hvorledes  $R_2$  bestemmes.

Danske vejregler:

$$\text{For LV og Bus} \quad R_2 = \frac{657}{V} + 5,30 \quad (i \text{ m}) \quad (1)$$

$$\text{For SVT} \quad R_2 = \frac{1479}{V} - 1,87 \quad (i \text{ m}) \quad (2)$$

V svarer til vinklen  $\alpha$  i programdokumentationen og i figur 4.1, dog til  $\gamma$  i figur 4.2. LV = Lastvogn, SVT = Sættevognstog.

**Tabelle 4.3: Hauptbogenradien für Eckausrundungen  
ohne Ausfahrkeil und ohne Rechtsabbiegestreifen  
an Straßen der Kategoriengruppen A und B**

$\alpha$ [gon]	Hauptbogenradius $R_2$ für	
	Rechtseinbieger [m]	Rechtsabbieger [m]
80	8	12
100	8	12 (15) *)
120	8	8
Zwischenwerte können eingeschaltet werden. Kleinere Werte als $R_2 = 7$ m dürfen nicht verwendet werden.		

\*)  $R_2 = 15$  m nur wenn Tropfen eingebaut wird.

Fig. 4.1: Tabel til bestemmelse af  $R_2$  ifølge de tyske vejregler /RAS-K-1, 1988/.

I det følgende er anført et lille eksempel. Lad os antage, at  $\alpha = 110^\circ$  og vi ønsker at dimensionere for et sættevognstog (SVT).

De danske vejregler giver:  $R_2 = 11,6\text{m}$   
 De tyske vejregler i figur 5.1 giver:  $R_2 = 10,0\text{m}$  (lineær interp.)  
 De oprindelige diagrammer i figur 5.2 giver:  $R_2 = 10,5\text{m}$  ( aflæst )

Det fremgår af eksemplet, at det reelt er vanskeligt at bestemme  $R_2$  entydigt. Forskellige vejregler giver forskellige bud på størrelsen af  $R_2$ . I de danske vejregler og oprindelige vejledninger bestemmes  $R_2$  afhængigt af køretøjstypen. Dette gælder derimod ikke for de tyske vejregler. MIK er foreløbigt opbygget på grundlag af de danske vejregler, hvilket vil sige, at programmets første gæt tager udgangspunkt i de anførte formler (1) og (2). Det vil dog pga. dynamikken i MIK-systemet til hver en tid være muligt at ændre denne værdi. En

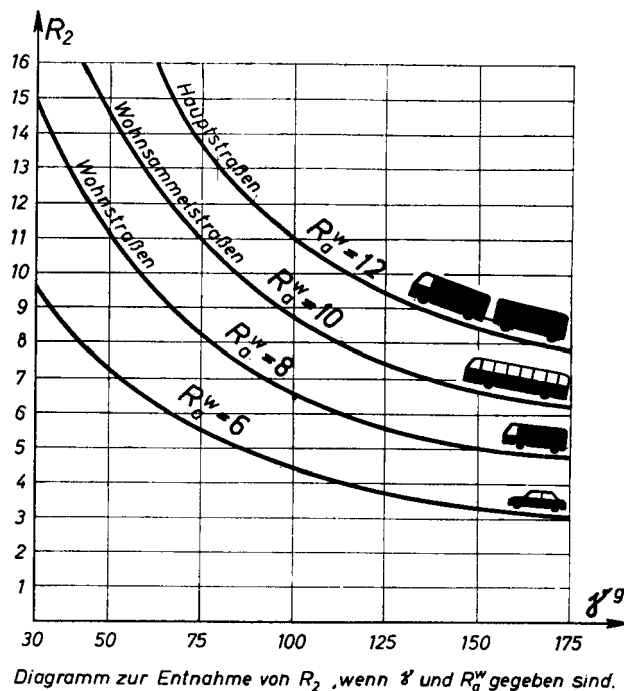


Fig. 4.2: Diagram med de originale bestemmelser af  $R_2$  /Krenz, 1964/.

dynamisk ændring af  $R_2$  vil medføre, at MIK viser hvilket køretøj der ifølge de danske vejregler påregnes at kunne komme rundt omkring hjørnet. På det grundlag forekommer det rimeligt at bestemme afrundingen af tilslutningskanten ud fra matematiske funktioner. Dette vil også være et punkt, hvor MIK vil kunne udvikles betydeligt.

Et andet forhold, der har betydning ved bestemmelse af tilslutningskanten er, at vejreglerne som nævnt kun gælder for rette kørebænkanten. Den tyske klassiker "Die Bordsteinführung" /Krenz, 1964/ beskriver kort, at hvis de tilsluttende kørebænkanten ikke er rette, indsættes et kort liniestykke i enderne, for at forbinde de to buer. I MIK itereres der frem til en løsning, hvor de to buestykker, dvs.  $R_1$  og  $R_3$ , tangerer kørebænkanten, uden at der skal indsættes mellemstykker, selvom de tilsluttende kørebænkanten ikke er retlinede. Se figur 4.3 som illustrerer dette.

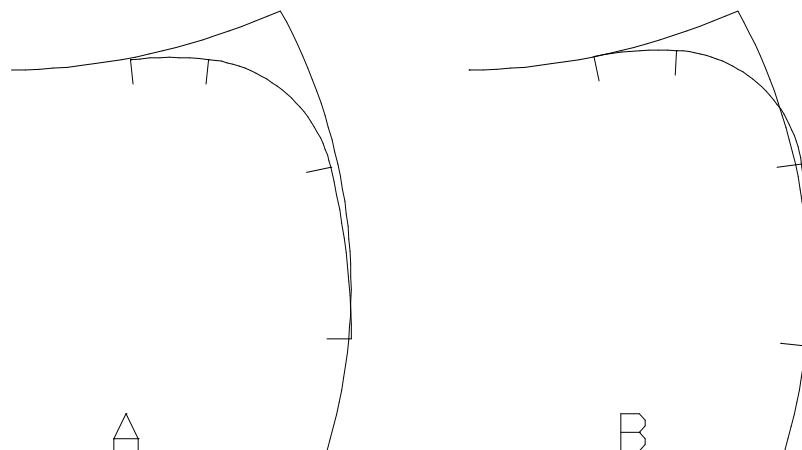


Fig. 4.3 Tilslutningskanten uden iteration (A) og efter iterationen er udført (B).

Det ses, at det første gæt er ganske pænt. Efter iterationen tangerer kanten perfekt, men går lidt udover den oprindelige kant. Det må derfor kontrolleres med arealbehovskurver, hvorvidt dette kan accepteres. Hvis det ikke kan

accepteres, må kanten flyttes længere væk fra de oprindelige kørebanekanter, hvorved størrelsen  $R_2$  øges.

Et andet supplement, som MIK-programmet giver iforhold til vejreglerne, er muligheden for at lave to-cirkelbuer, hvilket er meget benyttet ved lysreguleringer i byområder. Brugen af denne funktion er rent tegneteknisk, idet der ikke gennemføres nogen form for kontrol, som f.eks. med køretøjstypen ved tre cirkelbuen. Brugen af to-cirkelbuen kan ligeledes foretages med MIK's dragfunktioner. Selvom størrelsen af cirkelbuerne kan bestemmes individuelt og ikke har et fast forhold til hinanden, kan den ene cirkelbue, her også kaldet  $R_2$ , drages ligesom ved tre-cirkelbuen. Resultatet skal dog her kontrolleres grundigt ved hjælp af arealbehovskurver, inden udformningen accepteres.

Yderligere er der indbygget en én-cirkel afrunding i MIK, hvilket i vejreglerne er anbefalet for mindre betydende veje uden sekundærhelle. Den eneste supplerende funktion, der kræves i denne forbindelse, er muligheden for at bestemme afrundingsradius interaktivt, dvs. ved dragging.

## Sekundærhellen

Sekundærhellens geometri forudsætter først og fremmest beskrivelser, der er givet i de danske vejregler. Disse er i MIK omformet til matematiske formler, der gengiver reglerne eksakt i de to konstruktionseksempler ved henholdsvis den lille helle med en bredde på 3m og den store helle med en bredde på 5m. Udover disse er der i MIK opstillet nogle funktioner, som primært muliggør lineære interpolationer og ekstrapolationer imellem disse to beskrevne løsninger. Eksempelvis gælder der for afrundingen af hellespidsen fjernest primærvejen, at der ved en lille helle vælges  $R=0,50\text{m}$  og ved den store helle  $R=0,75\text{m}$ . Hvis en hellebredde drages bredere vil afrundingsradius vokse med trin på  $0,25\text{m}$ . Hvorvidt denne løsning er rimelig, er vanskeligt at sige, idet den ikke er afprøvet i praksis. Viser det sig, at denne inter/ekstrapolation ikke giver acceptable værdier, må den ændres efterfølgende. En anden meget væsentlig funktion som er indbygget i MIK, er bestemmelsen af slæbekurverne ved venstresving, jfr figur 4.4.

Slæbekurvernes radier  $R_{SL1}$  og  $R_{SL2}$  bliver bestemt ud fra de i de danske vejregler angivne grafer, som i MIK er blevet omformet til matematiske funktioner. Disse grafer er ligeledes meget specielle for Danmark, idet de ikke benyttes i andre lande, sandsynligvis på grund af deres ringe funktionsmæssige betydning. Af

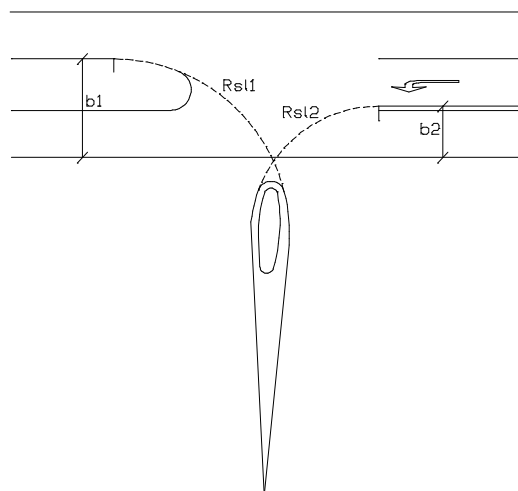


Fig. 4.4 Bestemmelse af slæbekurverne  $R_{SL1}$  og  $R_{SL2}$  i forbindelse med ændring af  $b1$  og  $b2$ .

hensyn til sammenhængen i MIK er alle grafer imidlertid indbygget som funktioner. Ved dragging vil parameterværdier, der ligger imellem to områder - f.eks. en helle på 4m's bredde og en vinkel på 90° - blive bestemt ved interpolation imellem de værdier, som programmet finder frem til. Resultaterne vurderes her som ganske tilfredsstillende, og de er gengivet i hele meter ifølge de danske vejregler. Slutpunktet for slæbekurven med radius  $R_{SL1}$  og startpunktet for slæbekurven med radius  $R_{SL2}$  bliver bestemt ud fra bredderne på køresporene og venstresvingssporet på primærvejen. Disse vælges som standard til 3,5 m, hvilket sandsynligvis vil dække ca. 80 pct. af tilfældene. Ændringen af disse bredder kan dog ske dynamisk, og man kan under denne procedure hægte (snappe) slæbekurverne på andre tegnede objekter, som tegningen indeholder.

Sekundærhellens geometri beregnes ud fra de tre konstruktionsprincipper, der er angivet i vejreglerne. Behov for skift mellem de tre principper sker automatisk, idet MIK-systemet ved interaktiv forandring af hellen selv bestemmer hellens vinkelområde. Ved bestemmelse af den afbøjede helle mangler der konkrete beskrivelser i vejreglerne, som kan muliggøre en entydig bestemmelse. I vejreglerne angives således ikke en størrelse for den indre cirkelbue  $R_V$ . Se figur 4.5.

Ifølge de danske vejregler indlægges blot "én cirkelbue". Systemet har imidlertid behov for at vide, hvilken størrelse der skal indlægges. Manuelt kan man prøve sig frem med en cirkelskabelon i hånden og herefter vælge efter skøn. I MIK-systemet er det valgt at bestemme den størst mulige cirkelbue, idet dette normalt giver det pæneste resultat, men hvor-

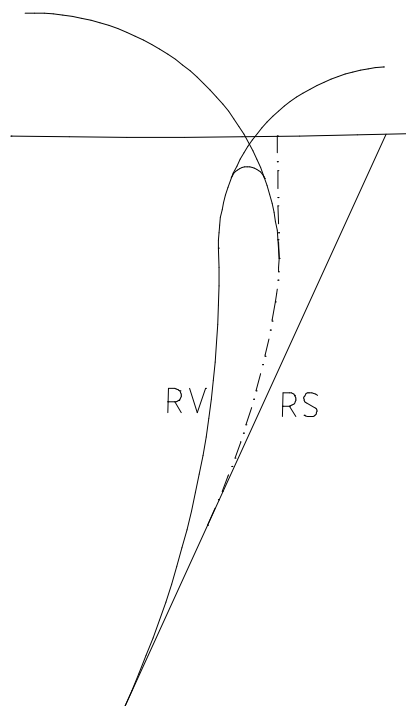


Fig. 4.5

Den indre cirkelbue ( $R_V$ ).

vidt dette er funktionsmæssigt det mest ønskelige er svært at sige. Foreløbig er der ikke i MIK givet nogen mulighed for at ændre på dette valg, men skulle der opstå et behov herfor, vil det være oplagt at indføre denne mulighed i programmet.

## Primærvejen

De danske vejregler indeholder en god beskrivelse af, hvordan man etablere breddeudvidelsen til kanaliseringen og primærhellerne med og uden svingspor. Beskrivelserne har kun den ulempe, at de kun gælder for linieføringer med et retlinet forløb eller i en cirkelbue. Der er ikke givet vejledninger for veje, hvor linieføringen for primærvejen på den pågældende strækning består af en kombination af et retlinet og et kurvet forløb eller linieføringer indeholdende klotoider.

I MIK er dette problem løst ved at betragte primærvejens centerlinie som bestående af vilkårlige geometriske elementer, idet rette linier, cirkelbuer og klotoider kan sammensættes vilkårligt. Der er i den sammenhæng blevet udviklet en såkaldt indrykningsfunktion. Funktionen tager udgangspunkt i et breddeudvidelsesstrækninger og udvidelsesradier, som vejreglerne fastlægger. Formlerne for disse geometriske størrelser er gengivet i det følgende:

$$L_{bu} = V_d \cdot \sqrt{\frac{i}{3}} \quad , \quad og \quad (3)$$

$$R_{kk} = \frac{L_{bu}^2}{4i} = \frac{V_d^2}{12} \quad , \quad (4)$$

hvor



- $R_{kk}$  = radius i m for den kørebanekant som breddeudvidelsen foretages over,  
 $L_{bu}$  = længden i m af breddeudvidelsesstrækningen,  
 $V_d$  = dimensionsgivende hastighed i km/h,  
 $i$  = bredden i m på den ensidige udvidelse.

Ovenstående er hentet fra de danske vejregler for kryd i det åbne land /5.30.01, 1983/. Hertil henvises for yderligere uddybning. Yderligere forklaring kan hentes i figur 4.6.

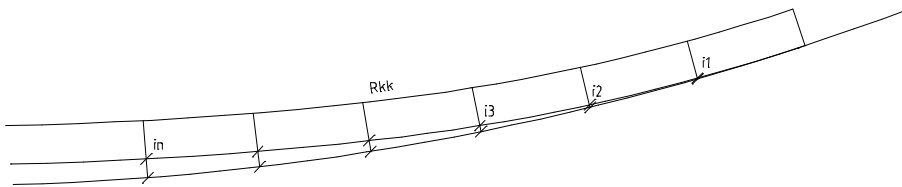


Fig. 4.6 Trinvis indrykning langs en kørebanekant med radius  $R_{kk}$ .

I figur 4.6 er vist, hvordan en trinvis indrykning af kantlinien bestemmes. Problemet opstår nu i tilknytning til den nye kantlinie, idet denne i første omgang består af en polygon med mange små vektorer. Disse behøver ikke nødvendigvis at beskrive geometrisk definerede objekter såsom rette linier og cirkelbuer, men de kan på grund af en form for transformation fra centerliniens oprindelige geometri være svære at definere matematisk. Da kørebanekantens geometri skal beskrives på en tegning og afsættes i marken, er det ønskeligt at ækvivalere polygonen med kendte geometriske størrelser, som tangenter hinanden. Strengt taget er det en lidt forældet måde at anskue geometrien på. Dette skyldes, at det i dag med de elektroniske hjælpemidler til afsætning af koordinater i marken er ligegyldigt, om man afsætter en eksakt cirkelbue eller en matematisk beregnet splinekurve, som det også var muligt at ækvivalere kørebanekanten med. Rent praktisk har det dog stor betydning, at man på en

tegning kan se, med hvilke geometriske størrelser f.eks. breddeudvidelsen bliver konstrueret af.

Hertil er der i MIK udviklet et forløb udtryk, der på en simpel måde gør det muligt at finde frem til, hvilke størrelser cirkelbuerden nye kørebane kant kan ækvivaleres med. I første omgang kan dette udtryk benyttes til den videre programudvikling, men en mere matematisk korrekt metode bør udvikles. Indryknings- og ækvivaleringsfunktionerne benyttes i MIK på stort set alle dele af primærvejens geometriske afgrænsning, idet placeringen af primærvejens objekter alle er afhængig af centerliniens geometri. Metoden kan diskuteres men det viser sig, at den giver ganske pæne og rimelige resultater, hvilket man kan overbevise sig om ved at afprøve den på geometrisk veldefinerede kurver såsom en ret linie.

Forudsætningerne er her i hovedtræk de samme som ved den analoge metode. Resultatet kan derimod afvige noget sammenlignet med denne metode. En afvigelse ville også optræde, hvis man fik to forskellige ingeniører til at konstruere det samme kryds, hvor primærvejens centerlinie f.eks. bestod af en vendeklotoide, idet vejreglerne ikke giver nogen eksakt projekteringsvejledning herfor, og ingeniørerne selv måtte antage og beregne forskellige størrelser.

## 4.2 Principper for opbygningen af MIK

For at forstå, hvordan MIK fungerer og benyttes under projekteringen, er det nødvendigt detaljeret at beskrive, hvilke hovedelementer MIK indeholder.

MIK består af en værktøjskasse forstået på den måde, at et kryds bliver opdelt i sine enkelte dele. Til konstruktionen af hver af disse dele er der udviklet et

værktøj. På figur 4.7 er vist, hvilke værktøjer der er etableret (eller blive etableret i den videre programudvikling).

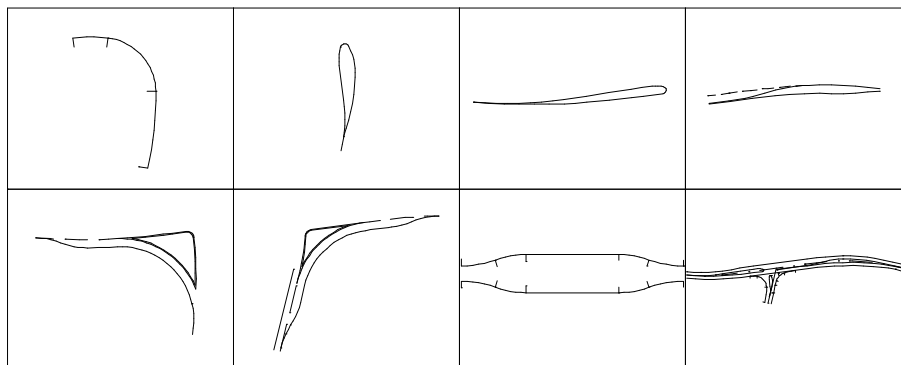


Fig. 4.7 Mulige projekteringsværktøjer i NovaCAD.

De mulige projekteringsværktøjer (i NovaCAD) består således af følgende:

1. Tilslutningskant
2. Sekundærhelle
3. Breddeudvidelse på primærvej
4. Primærhelle(m/u svingspor)
5. Højresvingsspor/højreindsvingsspor
- (6). Hele kanaliseringsanlægget

Principielt er det ikke noget problem at benytte disse værktøjer hver for sig men desværre lægger vejreglerne op til, at krydsets dele hænger sammen geometrisk, også i tilfælde, hvor dette strengt taget ikke er nødvendigt. Således bestemmes sekundærhellens kantafrænsninger af, hvor bred primærvejen er. Omvendt bestemmer startpunktet for breddeudvidelsen hvorledes sekundærhellen skal udformes. Tilslutningskanterne placeres efter udformningen af sekundærhellen og af primærvejens breddeudvidelse. Dette fremgår tildels også af krydsprojekteringsgennemgangen i kapitel 2 og figur 2.3. I MIK vil der dog være mulighed for selv at bestemme, hvorvidt man vil gøre det enkelte

krydselement afhængig af krydsøts øvrige dele. Men det siger sig selv, at denne funktion må benyttes med omtanke.

Krydset konstrueres op i sin helhed udfra standardværdier for de geometriske parametre. MIK starter med udgangspunkt i de to centerlinier for primærvejen og sekundærvejen, der er fastlagt på forhånd. Samtlige størrelser, der skal til for at tegne et T3-kryds jfr. figur 4.8 beregnes herefter,

*Fig. 4.8a Forskellige krydsyper /5.30.01, 1983/.*

dvs. et kanaliseringsanlæg med venstresvingsspor og sekundærhelle. På figur 4.8 er vist de forskellige krydstyper, der anbefales i vejreglerne. Se derfor de næste to sider.

Fig. 4.8b Forkellige krydstyper /5.30.01, 1983/.

Der er således tale om ti forskellige krydstyper, der opdeles i to kategorier, dvs. henholdsvis T-kryds (trebenet) og F-kryds (firbenet). I tabellen nedenfor er anført, hvorledes værktøjskassen håndterer konstruktionen af disse kryds ved at angive, hvilke værktøjer der er nødvendige.

Krydstype:	Værktøjsnr. til konstruktion (se side 76):
T1, F1	1
T2, F2	1, 2
T3, F3	1, 2, 3, 4
T4, F4	1, 2, 3, 4 (Forskellen mellem T3 og F3 ligger i b1,
T5, F5	b2)
	1, 2, 3, 4 (Forskellen til T4, F4 ligger i b1, b2)

Hvis der kræves yderligere konstruktioner, f.eks. til et forsat firbenet kryds benyttes værktøjet igen til placering af den næste sekundærhelle.

Afhængighedsforholdet mellem de forskellige dele af krydset er der ikke arbejdet så meget med i MIK, men i princippet hænger alle de af programmet konstruerede delobjekter sammen. Ændringer i det ene objekt, f.eks. sekundærhellen, medfører ændringer andre steder i konstruktionen. MIK tager det hensyn og informerer om, hvilke objekter der kan ændres tilsvarende. Disse udpeges så efter ønske. Denne facilitet er endnu ikke fuldt udbygget i MIK.

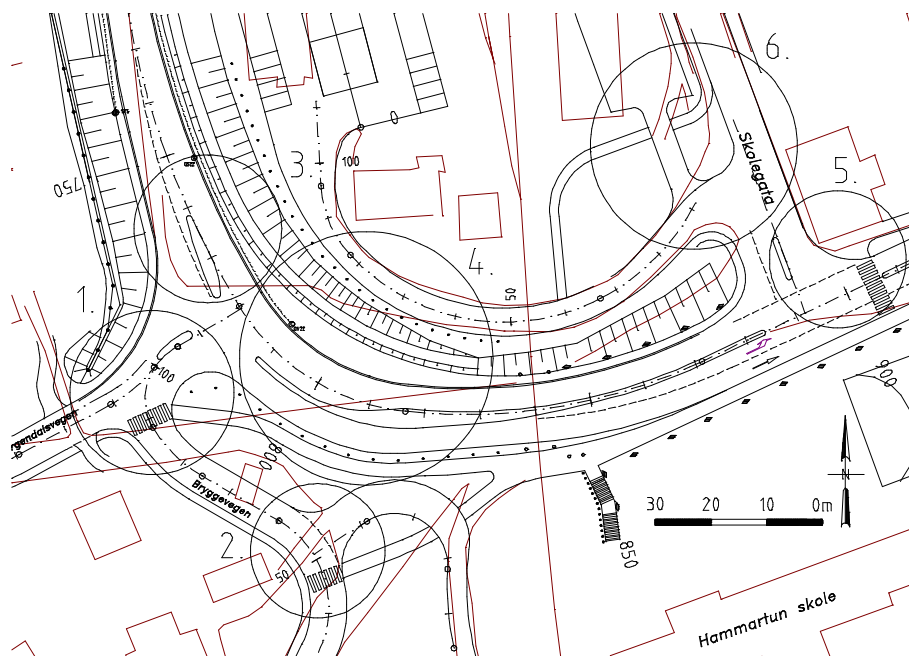
Tilslutningskanten er ikke knyttet til centerlinierne og er derfor det mest generelle værktøj i systemet. Dette værktøj vil man typisk kunne benytte til at etablere afrundinger i mange andre sammenhæng, idet kun de to kørebanekanter er afgørende for dennes placering.





## 4.3 Funktionshensyn

Det følgende afsnit indeholder en beskrivelse af, hvorledes værktøjskassen vil kunne benyttes i praksis. Der tages udgangspunkt i et kryds i Lillehammer, som er projekteret hos ViaNova af ing. Geir Andersen og åbnet for trafikken den 10. juli 1993. Krydset indeholder en del vanskelige geometriske udformninger, der er velegnet til at beskrive MIK's funktionelle styrke. Der vises ialt fem kryds, der indbyrdes er meget forskellige og tildels utraditionelt udformet. Krydset i Lillehammer fremgår som helhed af figur 4.9.



*Fig. 4.9 Gadeudsnit fra Lillehammer med seks forskellige krydssituationer.*

De seks nummererede ringe beskrives i det følgende.

### Ad 1.

På figur 4.10 ses en sidevej med et S-formet kurveforløb, der udmunder i en anden sidevej. Der er således tale om to kryds samlet i ét.

Krydsenes udformning vil ikke kunne bestemmes alene ud fra reglerne for et "standardkryds". Der kræves her en ganske utraditionel udformning. Hvis krydset deles op i enkelte objekter, vil det imidlertid kunne konstrueres ved hjælp af MIK og værktøjskassen.

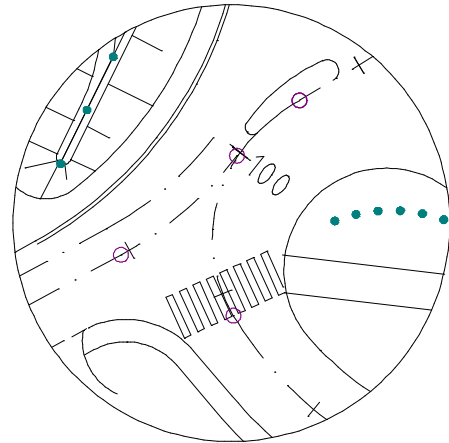


Fig. 4.10 Krydsudsnit 1.

Kantliniernes kurveforløb ved vejudmundingen vil kunne fastlægges ved hjælp af det multidynamiske modul til konstruktion af tilslutningskanter, hvor de nye kantlinier tilpasses eksisterende og evt. passes ind i hinanden. Dynamikken kan yderligere benyttes til at finde et kompromis for bredden på vejudmundingen ved dels at vælge en afrundingsradius stor nok til problemfri passage og dels lille nok til at opnå en sikker krydsning af vejen med gangfelt. Yderligere kan forhold som buskørsel og lignende spille ind på valget af afrundingen.

Konstruktionen af den viste sekundærhelle bliver her lidt speciel, fordi den ligger midt i en S-kurve, hvilket de analoge konstruktionsprincipper i vejreglerne ikke giver en løsning for. Ved at benytte MIK til en dynamisk udformning af sekundærhellen direkte på skærmen, vil den kunne udformes med hensyn til bredde, længde, afbøjning og placering i øvrigt. Den interaktive redigering vil her være til stor gavn.

### Ad 2.

Dette er et relativt simpelt eksempel (figur. 4.11), der dog illustrerer problemstillingen ved ekstremt kurvede veje, idet man på forhånd bevæger sig uden for vejreglernes gyldighedsområde.

Tilslutningskanterne må tilpasses de eksisterende forhold. Dette kræver en utraditionel løsning, hvilket er sædvanlig praksis for en vejingeniør. Et fleksibelt værktøj er her til stor hjælp ved disse særlige geometriske udformninger.

I dette tilfælde må der yderligere peges på en mindre detalje. Normalt bestemmes vejenes geometri på grundlag af beregnede centerlinier (i programmet NovaCAD i form af ti-tabeller). Oftest skal eksisterende veje tilsluttes et nyt vejanlæg, uden at der kræves en projekteret forandring for dem. I dette tilfælde er et værktøj svarende til MIK-systemet den eneste mulighed for at udføre denne tilpasning, idet man her koncentrerer sig om at fastlægge kantlinierne og evt. en helle uden at være afhængig af en ti-tabel for centerlinien på hhv. primærvejen og sekundærvejen. Sekundærvejens midterlinie, der benyttes til placering af sekundærhellen, vil kunne fastlægges ved en simpel ret linie på tegningen. Hvis tilslutningskanten er etableret med værktøjet, vil der selvfølgelig kunne oprettes en ti-tabel til beskrivelse af dens geometri bagefter.

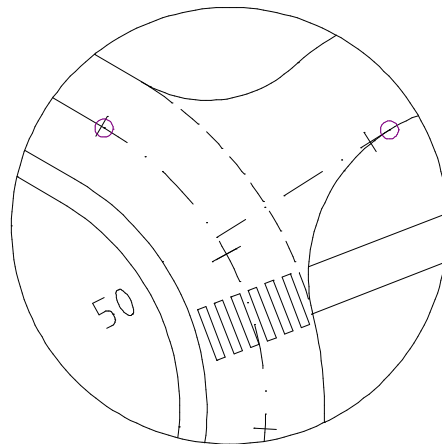


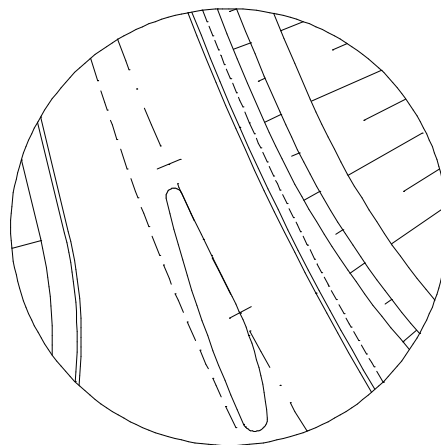
Fig. 4.11 Krydsudsnit 2.

### Ad 3.

En primærhelle uden svingspor er en rimelig simpel konstruktion (se figur 4.12), der til en vis grad følger de konstruerede kørebanekanter for primærvejen, som typisk projekteres først. Primærhellen er således helt afhængig af udformningen for denne, idet en mindre justering af kørebanekanten pga.

fysiske bindinger vil have en indflydelse på hellens udformning, da denne normalt følger med vejens forløb.

Bredden på hellen kan variere meget fra sted til sted, idet begrænset plads, specielt i byområder, kræver utraditionelle løsninger. Disse er mulige med et værktøj, der kan benyttes til at konstruere en fleksibel udformning af en helle. Således kan brødd, længde og individuel placering forandres efter det lokale behov.



*Fig. 4.12 Krydsudsnit 3.*

En anden væsentlig detalje er udformningen af primærhellen ved et centerlinieforløb, der indeholder klotoider m.m. Her vil der igen være behov for individuel tilpasning af et geometrisk korrekt vejforløb, der kun kan afgøres af den projekterende ingeniør.

#### **Ad 4.**

Primærhellen med svingspor byder normalt på mange varianter, idet disse ofte er meget pladskrævende. I byområder vil man eksempelvis næppe kunne dimensionere en sådan helle efter kørselsdynamiske principper, hvilket vejreglerne /5.30.01, 1983/ lægger til grund for sin konstruktionsvejledning. Primærhellen vil i hvert enkelt tilfælde skulle konstrueres efter bedste skøn.

I dette eksempel ses faktisk en helt igennem speciel løsning, idet endepunkterne på de to venstresvingsspor i figur 4.13 er konstrueret ind i hinanden. Et MIK-værktøj her vil kunne hjælpe en ingeniør langt hen ad vejen. Med en dynamisk længde- og breddetilpasning vil det være muligt at konstruere selv meget komplekse hellesystemer. Det er dog tvivlsomt om den viste løsning vil kunne konstrueres præcist som vist her. Manuelle tilpasninger kræves derfor for at

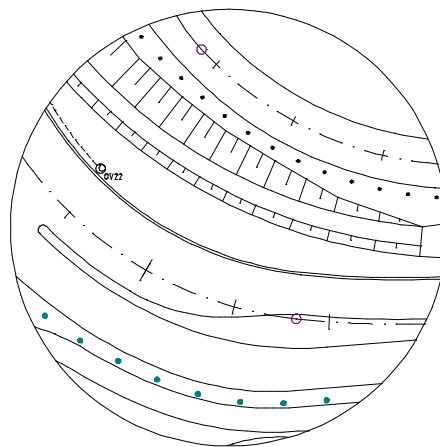


Fig. 4.13 Krydsudsnit 4.

få det ønskede resultat. Men dette forhold understøtter blot anvendeligheden af ideen om at opbygge et krydskonstruktionsprogram af værktøjer, der igennem deres fleksible brug kan hjælpe med at projektere selv meget komplekse geometriske konstruktioner.

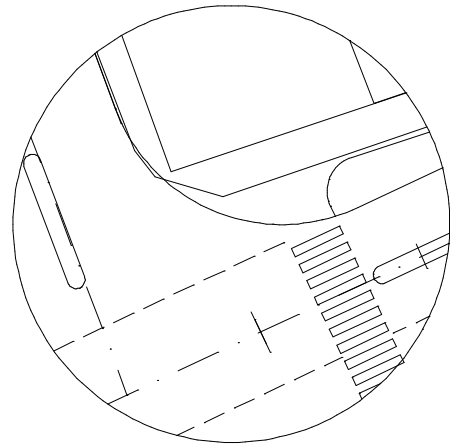
I dette eksempel ses også, at kilelængden er meget forskellig fra den ene situation (meget kort) til den anden (meget lang). Denne forskel er simpelthen fremkommet ved en æstetisk tilpasning under projekteringen, idet vejreglerne udfra en dimensionsgivende hastighed ville have krævet nogenlunde den samme længde i begge situationer. Det er og bliver den projekterende, som styrer forløbet og som i sidste ende skal være tilfreds med resultatet.

Et æstetisk vejforløb kan kun vurderes visuelt, ikke på grundlag af den benyttede parametersammensætning. En visuel og intuitiv projektering bliver derfor til stor gavn her.

## Ad 5 og 6

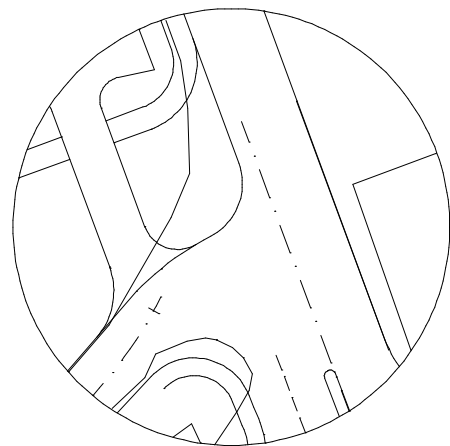
Begge de følgende eksempler skal understrege behovet for et fleksibelt værktøj.

I situation 5 (figur 4.14) optræder der et hushjørne, som tilslutningskanten skal rundes om. Ved visuelt skønsmæssigt at placere afrundingen optimalt, vil man meget hurtigt kunne finde en acceptabel løsning. Problemet, som opstår i forbindelse med hensynet til den køretøjstype, som skal runde dette hjørne, bliver hurtigt et sekundært problem, fordi man næppe river huset ned for at give en meter ekstra plads til hjørneafrundingen. Et værktøj, der giver frihed til at bevæge sig udover vejreglernes dækningsområde, er derfor ønskeligt. At kunne udforme geometrien interaktivt og følge begivenhederne løbende er således ganske nødvendigt.



*Fig. 4.14 Krydsudsnit 5.*

I situation 5 ses en helleudformning, som vinder mere og mere frem i byområderne, selvom denne ikke vil kunne findes i de danske vejregler. Det er en simpel og funktionel helle, der er hurtig og nem at konstruere og som opfylder behovet for kanalisering af trafikken i krydset.



*Fig. 4.15 Krydsudsnit 6.*

Situation 6 (figur 4.15) skal blot understrege den situation, hvor konstruktionen af en kantlinie foretages uafhængigt af centerlinier, men tilpasset de eksisterende forhold.

## 4.4 Multidynamiske funktioner

I dette afsnit beskrives, hvorledes MIK vil fungere i praksis, når programmene bruges i sin helhed. Herved vil også de generelle multidynamiske funktioner som indgår i programmet, blive gennemgået.

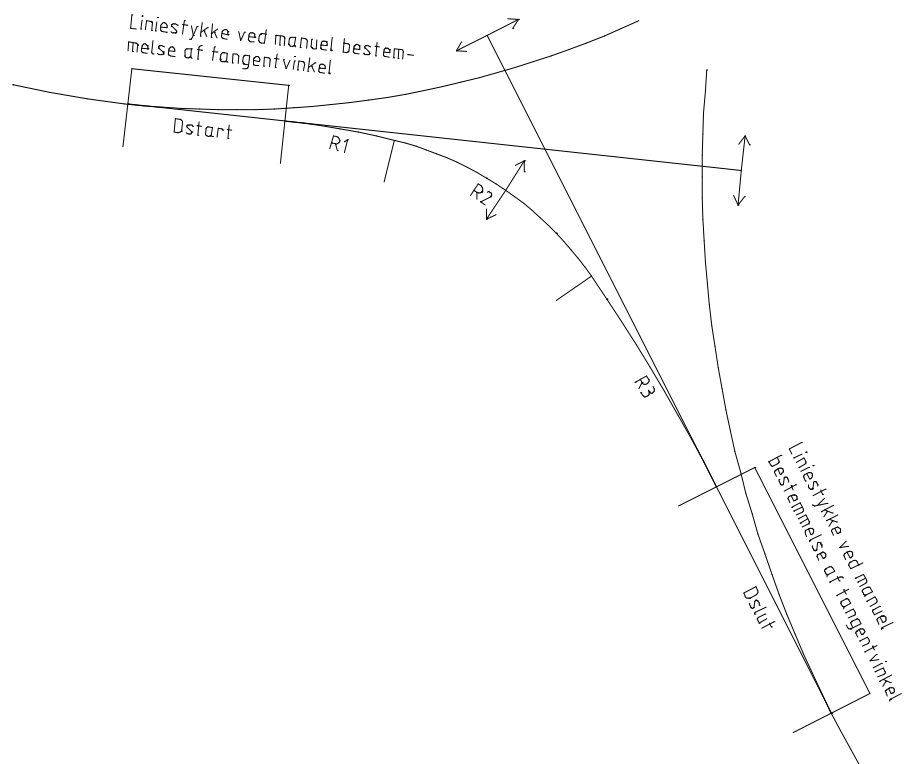
I kapitel 2 blev krydsprojekteringen berørt. Den analoge fremgangsmetode blev fremstillet i figur 2.3, som er vejreglernes anvisning. Det er klart, at man ved en omformning fra analog projektering på papiret til den digitale projektering i CAD-systemet ikke helt kan fravriste sig den førstnævnte fremgangsmåde. Årsagen til, at det til dels alligevel er lykkedes i MIK, er i vid udstrækning brugen af standardparametre. Dette er et punkt man skal være særlig opmærksom på, når man bruger systemet. Man bliver delvis hjulpet af, at de steder hvor standardparametre gøres sig uheldigt bemærket, ved f.eks. valg af køresporbredden, vil man øjeblikkeligt kunne se det, og herefter kunne benytte de multidynamiske funktioner for at fjerne fejlene.

Multidynamikken er vanskelig at beskrive, den skal ses og prøves. Men i det efterfølgende gøres et forsøg på at forklare, hvorledes de enkelte dele i værktøjsskassen indebærer mulighed for dynamisk forandring. Der tages udgangspunkt i den på side 80 anførte liste over værktøjer. For alle dynamiske værktøjer gælder det, at de kan indtastes med alfanumeriske parameterværdier, hvilket er meget hensigtsmæssigt idet det ikke altid er muligt nøjagtigt at se den korrekte størrelse på parameteren. Man kan f.eks. forestille sig den situation, hvor man drager sig frem til en radius på 11,78m, men reelt ønsker et helt tal, hvorfor værdien indtastes som 12,0m. Det skal understreges, at alle dynamiske parametre indtastes direkte i skærbilledet på en menu.

### Tilslutningskanten

---

Ved udformningen af tilslutningskanten gives mulighed for dynamisk at ændre buens midterste radius. Dette gælder både for én-, to- og trecirkelbuen. Der kan foretages en iterativ løsningsbestemmelse af afrundingens tilslutning til kurvede kørebanekanter, men tilslutningerne kan også fastlægges interaktivt ved dynamisk håndtering af tangentretningen. Se figur 4.16.



*Fig. 4.16 Dynamiske ændringsmuligheder ved tilslutningskanten.*

## Sekundærhellen



Sekundærhellen er måske nok den mest komplicerede del af krydset. De dynamiske ændringsmuligheder i krydset er ret omfattende og kræver en del omtanke ved brugen. I figur 4.17 er med pile markeret hvilke dynamiske dele sekundærhellen består af.

Slæbekurverne kan bestemmes dynamisk ved, at bredderne  $b_1$  og  $b_2$  dragges op og ned. Den nøjagtige placering kan angives ved at "snappe" til et kendt punkt eller linie. Hellenes længde kan forandres ved at trække hellespidsen frem og tilbage langs sekundærvejens centerlinje (toppens placering ændres ikke). Hvis centerlinjen skulle have et kurvet forløb, vil konstruktionprincippet automatisk følge den gældende udgangsvinkel, som hellespidsen fastlægger, se figur 4.19. Toppen af hellen flyttes enten ad X-aksen eller Y-aksen i det lokale koordinatsystem, men ikke på én gang, da dette

ville indebære, at udgangsvinklen for helleberegningen ikke vil være bestemt ("bundens" placering forandres herved ikke). En flytning i Y-aksens retning kan typisk benyttes til at gøre plads til en cykelsti som skal forløbe foran hellen. Under denne flytning vil der være mulighed for at tilpasse de ændrede slæbekurver. Ved at svare ja til systemets spørgsmål om, hvorvidt man ønsker at slæbekurverne skal ændres i takt med en flytning langs Y-aksen, vil disse kurver blive ændret i forhold til hellens placering. Hellenes bredde kan også forandres dynamisk. Herved ændres "top-" og "bund"radius samt radius på slæbekurverne automatisk. I byområder er det ofte ønskeligt at ændre hellens bredde, hvor det kniber med pladsen. Bredden kan også udnyttes til at give specielt gode forhold for fodgængere og cyklister, der krydser hellen.

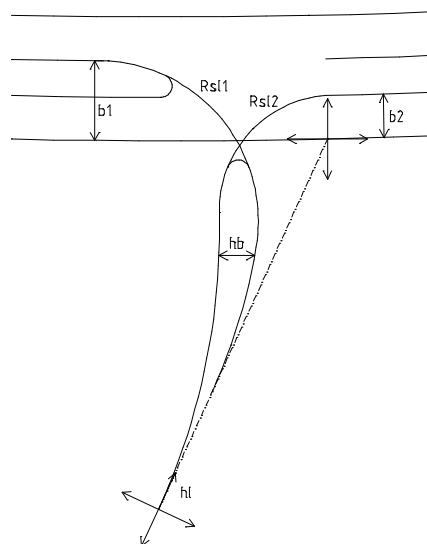
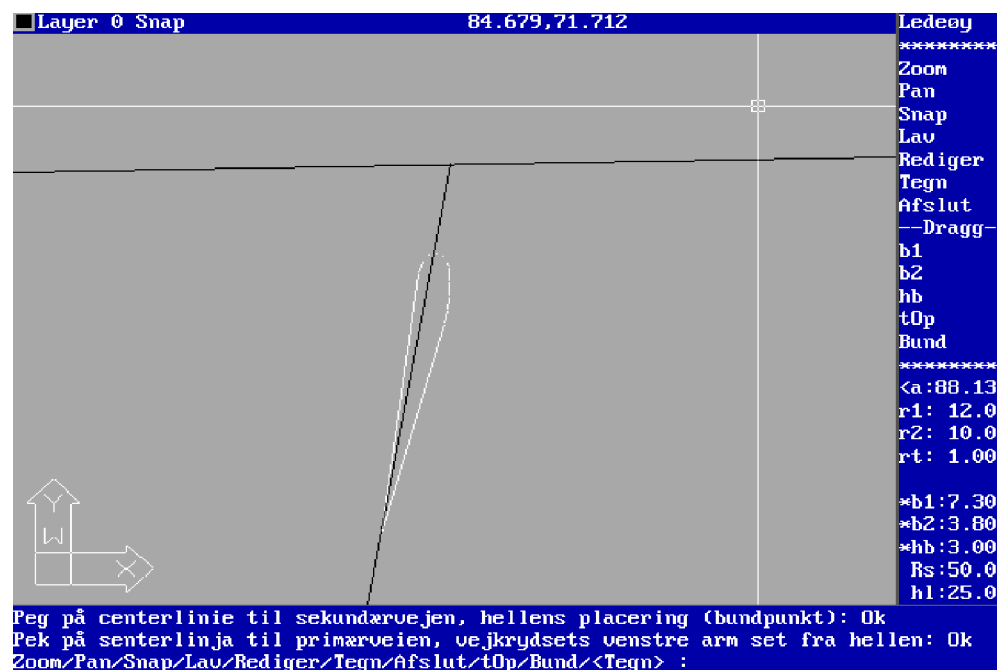
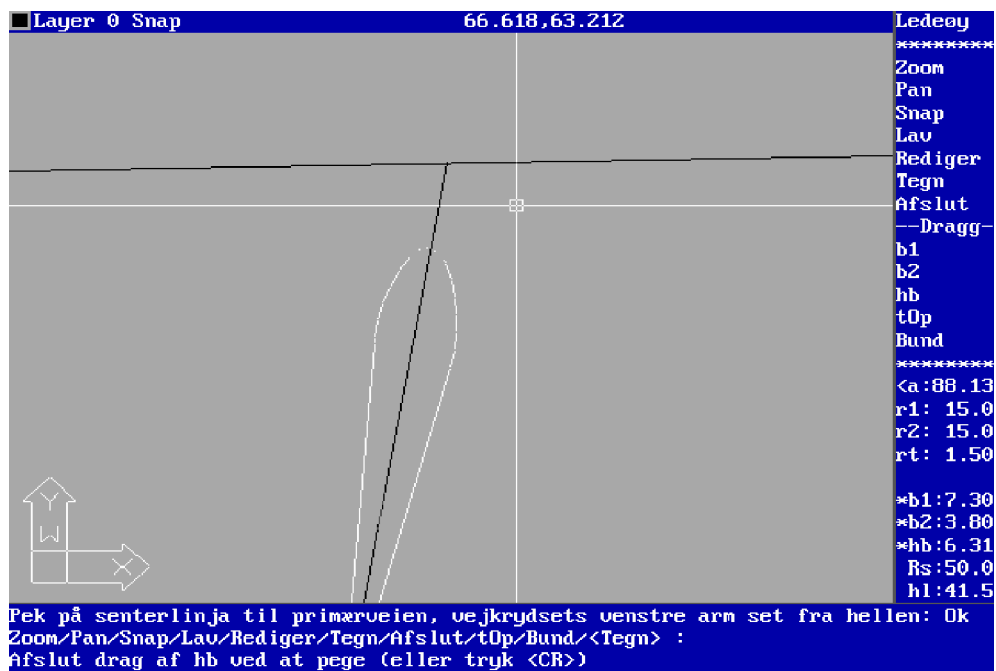


Fig. 4.17 Dynamiske ændringsmuligheder ved sekundærhellen.

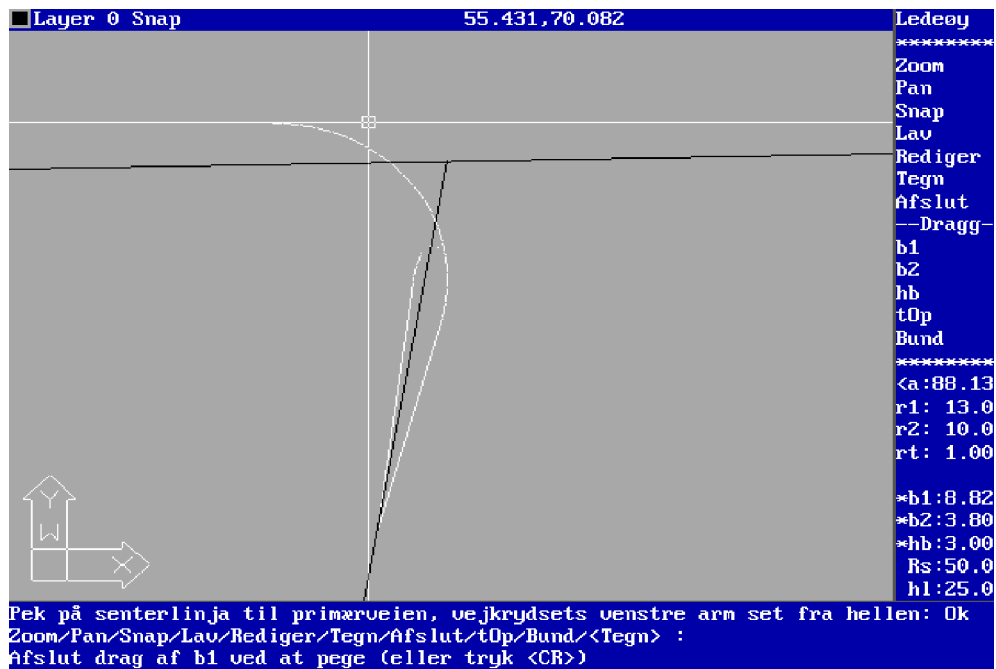
De følgende fire sekvenser, som er taget ud af programmet viser netop, hvordan skærbilledet tager sig ud i dag i forbindelse med projekteringen af en sekundærhelle alene. I sekvenserne er det tildels også muligt at følge ændringerne af parameterne. Disse sekvenser vil være de eneste eksempler fra programmet i denne afhandling.



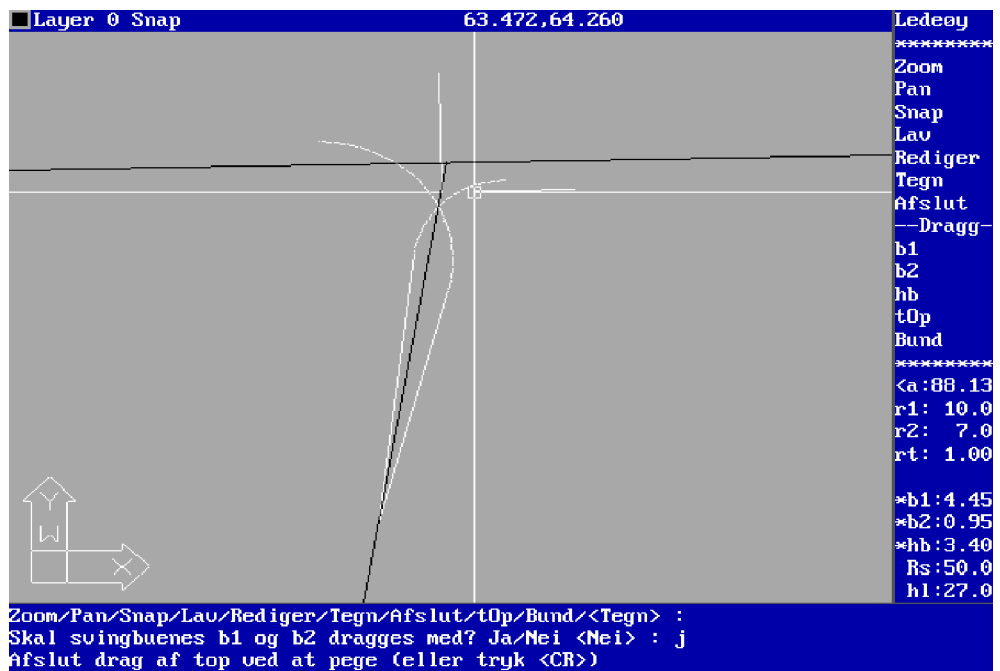
*Sekvens 1: Programmet er aktiveret udfra to centerlinier. Skærbilledets højre side udgør programmets menu. Her fremgår bl.a. draggfunktionerne og de indgående parametre, som her er standardværdier.*



Sekvens 3: Der dragges på hellebredden. hb samt  $R_{SL1}$  og  $R_{SL2}$  dragger med, hvilket ses af højre skærm-billede.



Sekvens 2: Der dragges på størrelsen b1.



Sekvens 4: Der dragges på hellens top.  $b1$  og  $b2$  dragges med på ønske.  $R_{SL1}$  og  $R_{SL2}$  dragges med automatisk.

## Primærhellen

Primærhellen har en del geometriske længdeparametre som man kan have stor interesse i at forandre dynamisk. I figur 4.18a og 4.18b ses de dynamiske ændringsmuligheder, som MIK byder på.

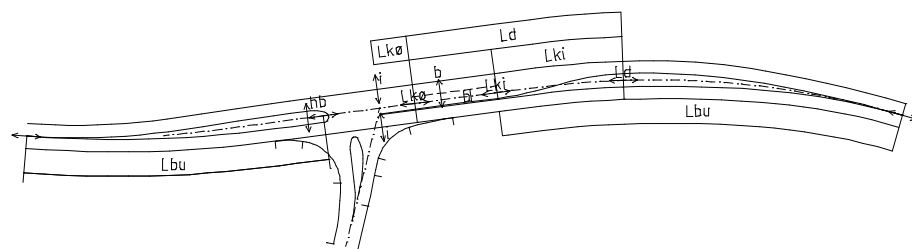


Fig. 4.18a Dynamiske ændringsmuligheder ved primærvejen.

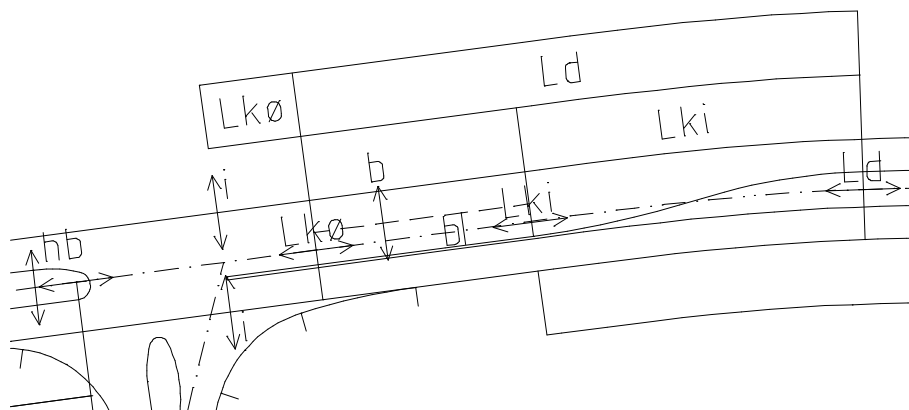


Fig. 4.18b Udsnit af venstresvingsspor i figur 4.18a.

Længden af breddeudvidelsesstrækningen er sammen med bredden på udvidelsen en af de vigtigste størrelser langs primærvejen, der kan ændres interaktivt. Den største fordel herved er, at en evt. modkrumning kan undgås ved dynamisk at ændre længden. I de tyske vejregler anbefales detda også at foretage en optisk kontrol på dette forhold. Andre størrelser, som kan ændres dynamisk, er de længder som indgår i venstresvingssporet. Således kan køstrækningen, decelerationsstrækningen og selve kilestrækningen ændres ved at "drage" disse på skærmen. De længder, man finder frem til i de danske vejregler, er bestemt ud fra kørselsdynamiske forudsætninger. Derfor bliver længderne ofte meget lange (og dermed dyre), hvilket giver anledning til en modifikation af krydset. Især decelerationsstrækningen kortes normalt af. Som en kuriositet kan nævnes, at de tyske vejregler angiver væsentligt kortere strækninger for deceleration, selvom man faktisk må køre hurtigere på de tyske trafikveje. Se sammenligningen i figur 4.19a og b.

Tabelle 9: Länge der Verzögerungsstrecke  $l_v$  bei Linksabbiegestreifen

Verkehrsstärke in der Richtung aus der abgebogen wird	Längsneigung $s$ [%] und Geschwindigkeit $V_k$ [km/h]																	
	$s \leq -4$						$-4 < s < 4$						$s \geq 4$					
$q$ [Kfz/h]	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100
$\leq 400$	0	10	20	35	50	65	0	10	15	20	30	40	0	5	10	15	20	30
$> 400$	0	25	40	60	80	105	0	20	30	40	55	75	0	15	20	30	40	55

Fig. 4.19a Decelerationslængder ifølge de tyske vejregler /RAS-K-1, 1988/

længdegradient $s$ o/oo		dimensioneringshastighed, $V_d$ (km/h)					
		50	60	70	80	90	100
stig- ning	40	31	35	39	51	64	79
	20	33	37	42	55	70	86
	0	35	39	46	60	77	95
fald	20	37	41	51	67	85	105
	40	39	44	58	75	95	118

Fig. 4.19b Decelerationslængder ifølge de danske vejregler /5.30.01, 1983/

Selvom der er lidt forskel i opbygningen af tabellerne, benyttes de principielt ens. Vælges f.eks.  $V_d = 100$  km/h og et fald på 35 ‰ for længdegradienten vil de tyske vejregler ved mindre end 400 biler i timen (svarende til trafikken på en almindelig nordjysk landevej) give en decelerationsstrækning på  $L_d = 40$  m. De danske vejregler vil give noget nær  $L_d = 115$  m. Dog skal kilestrækningen  $L_{ki} = 36$  m her fratrækkes for at gøre tallene sammenlignelige. Den reducerede længde bliver således på 79 m, dvs. næsten dobbelt så lang som beregnet efter de tyske vejregler. Det har ikke været muligt at opspore nogen forklaring på, hvorfor man i Danmark har så lange decelerationsstrækninger, udover de forudsætningerne for bestemmelse af de to længder givetvis er valgt forskellige i de to lande. Generelt forkortes de dog under projekteringen. Det er ikke på mange steder i Danmark man kan se venstresvingsspor, der er næsten 100 meter lange (køstrækningen  $L_{kø}$  udgør normalt kun 10 m).

## Højre(ind)svingsspor

Vejreglerne beskriver kun i meget beskedent omfang, hvorledes et højresvingsspor skal konstrueres. Der angives kun to udtryk i forbindelse med højreindsving, hvilket er utilfredsstillende, idet den mest anvendte konstruktion er højresvingssporet, hvor man drejer fra primærvejen og ind på sekundærvejen. Denne konstruktion er i de danske vejregler kun vist som skitse. I øvrigt bliver højresvingsspor i dag på lige strækninger ofte udført med en opmærksom spærreflade (et "slips") med en bredde på ca. 3m imellem primærvejens ligeudgående kørespor og højresvingssporet, idet ensådan flade øger oversigten for indsvingende trafik fra sekundærvejen. En konstruktionsvejledning til selve konstruktionen er ikke angivet i vejreglerne.

Til etablering af højreindsving er der i vejreglerne hhv. en tabel og et udtryk for bestemmelse af accelerationslængden og længden for kilestrækningen, som i øvrigt begge forekommer urealistisk lange for almindelige hovedlandeveje og må henføres til motortrafikveje eller endda motorveje.

Da det i afhandlingen ikke har været opgaven at komme med forslag til nye konstruktionsudformninger, har denne del af krydsprojekteringssystemet været nedprioriteret meget. Uden tvivl vil der skulle udvikles et værktøj til et højreindsvingsspor på sekundærvejen og et højresvingsspor på primærvejen med mulighed for etablering af slips, hvilket skal overlades til ViaNova i Norge. Det vil være to fremragende eksempler på brugen af det multidynamiske værktøj idet der ud over et skitseret udseende ingen restriktioner er lagt på den endelige udformning. Således vil det være kravene til svingsporenes trafikale funktion som vil udgøre forudsætningerne for den endelige udformning af disse.

## 4.5 Afhængigheden mellem krydsets enkelte dele

I det følgende afsnit beskrives, hvorledes et kryds konstrueret op ved hjælp af en værktøjskasse, skal kunne håndteres dynamisk som helhed. Med andre ord beskrives, hvordan de parametre, der styrer krydsets udseende, forandres indirekte ved hjælp af andre parametre, der ændres på et helt andet sted i krydset.

Dette afsnit vil samtidig søge at give et realistisk billede af den dynamiske funktion i redigeringsværktøjet, ved udformningen af et komplet kryds. Samtidig gives en vurdering af, hvor grænsen ligger for hvad det i dag er muligt at udføre med et multidynamisk redigeringsværktøj, idet den begrænsede maskinkraft forhindrer en egentlig dynamisk forandring af hele krydset på én gang. Det forventes imidlertid at ville ændre sig i fremtiden, hvor større og kraftigere edb maskiner afløser de nuværende.

Ligesom andre steder i afhandlingen indledes der med en beskrivelse af tilslutningskantens funktioner. Herefter beskrives sekundærhellen og endelig primærvejen. Reelt bør der være en illustration af konstruktionen med alle de indgående parametre, men antallet af disse er for omfattende til, at de kan vises i en figur. Med udgangspunkt i figurerne 4.16 - 4.18 i afsnit 4.4 gives i stedet en beskrivelse af de ændringer, som hele krydset bør udsættes for. Der vil ikke blive benyttet parameterudtryk men derimod beskrivelser, der kan henføres til en bestemt konstruktionsdel i krydset. I beskrivelsen fødsættes således, at hele krydset er tegnet komplet op, og der herefter ønskes foretaget en mindre ændring af et delelement i krydset med et af de mange dynamiske redigeringsværktøjer i MIK-systemet.



Det skal bemærkes, at programmet vil give brugeren mulighed for at vælge og fravælge de dele af konstruktionen, som brugeren ønsker henholdsvis skal følge med eller ikke skal følge med ved en dynamisk redigering.

## Tilslutningskanten

Dynamiske ændringer af tilslutningskanten behøver ikke umiddelbart at medføre krav om ændringer andre steder i krydset. Det vurderes, at det i praksis sikkert ikke vil være ønskeligt, idet en ændring af tilslutningskanten normalt hidrører fra arealbehovet for det svingende køretøj. En ændring vil således normalt kunne ske uafhængigt af resten af konstruktionen. Dette skyldes, at arealerne mellem tilslutningskanten og f.eks. sekundærhellen ikke vil forandres mærkbart, idet sekundærhellen vil følge med tilslutningskantens bevægelser.

Hvis der ønskes en afhængig ændring, kan dette ske ud fra en valgt mindste passagebredde, der normalt sættes til hhv. 3,5m for indsvingende trafik og 4,5m for svingende trafik.

På den øvrige del af konstruktion vil der optræde indirekte krav om ændringer, idet en flytning af sekundærhellen vil medføre en flytning af hele primærvejens krydskonstruktion. Tilslutningskanten vil derimod ingen direkte indflydelse have på denne del af krydset.

Ændringer hidrørende fra sekundærhellen gennemgås i det følgende.

## Sekundærhellen

En ændring af dennes udformning vil medføre de mest omfattende krav om ændringer i andre dele af krydset, idet hele krydsets udgangspunkt for den geometriske konstruktion bestemmes af sekundærhellens udformning. Dette skyldes slæbekurverne med radius  $R_{SL1}$  og  $R_{SL2}$ , se figur 4.17, som bestemmer start- og slutpunkterne for primærhellekonstruktionen. En ændring af disse

radier vil derfor umiddelbart medføre flytning af hele konstruktionen langs primærvejen. Selvom denne flytning sammenlignet med krydsets længde som helhed vil være af minimal betydning vil kravet til en justering af længden være tilstede ifølge konstruktionsvejledningen. Undlades denne ændring, kan det få konsekvenser for den svingende trafik omkring sekundærhellen, idet f.eks. primærhellen, hvis den ikke flyttes tilsvarende, vil kunne være placeret på en sådan måde, at passage rundt om den ikke vil være muligt.

Sekundærhellens udformning betjenes af fem dynamiske redigeringsfunktioner, som fremgår af figur 4.17. Ved ændring af  $b_1$ ,  $b_2$ , hellebredden  $h_b$  og hellens placering i "toppen", vil kravet om en afledet ændring af primærhellens udformning gøre sig gældende. Ved ændring af sekundærhellens længde udfra hellens "bund", vil det derimod ikke være nødvendigt at ændre på primærvejens konstruktionsdele.

Hvis der er foretaget en ændring på hellens bredde, vil et yderligere krav være, at tilslutningskanten skal flyttes med. Begrundelsen herfor er den samme som beskrevet ovenfor, idet afstanden fra hellen til tilslutningskanten er valgt til en fast størrelse. En ændring af hellebredden vil således have indflydelse på tilslutningskantens placering. Ved f.eks. en øgning af hellebredden skal der således også gives mulighed for en øgning af  $R_2$  og dermed for en flytning af tilslutningskantens tangentpunkter på hhv. primærvejens kørebanekant og indirekte på sekundærvejens kørebanekant. Indflydelsen på sekundærvejens tangentpunkt bliver kun indirekte, fordi der indsættes et mellemstykke i form af en cirkelbue, der bevirker en breddeudvidelse, når man kommer kørende ad sekundærvejen henimod primærvejen. Breddeudvidelsen etableres som en selvstændig funktion i forbindelse med etablering af tilslutningskanten.

Den geometriske konstruktionsændring på primærvejen, som sekundærhellens dynamiske funktioner gør krav på, bliver beskrevet i det følgende.

## Primærhellen

---

De ændringer i primærvejens udformning, som kræves af andre dele af krydset f.eks. af sekundærhellen som beskrevet ovenfor, begrænses til primærhellernes placering, dvs. hvor de starter og hvor de slutter. De længder, der indgår i primærhellekonstruktionen, vil der ikke kunne øves indflydelse på fra anden side. Det er kun den projekterende, som kan ændre disse ved hjælp af de multidynamiske redigeringsværktøjer.

Omvendt vil ændringer af de længder, som specielt indgår i venstresvingssporet, heller ikke kræve ændringer af hverken sekundærhellen eller tilslutningskanten. En ændring af længden på breddeudvidelsen vil, især ved primærhellen uden svingspor, medføre en flytning af tangentpunktet på primærvejens kørebane kant hidrørende fra tilslutningskanten. Dette skyldes, at en ændring af længden på breddeudvidelsen medfører en ændring af størrelsen på radius langs kørebane kanten og dermed medfører en ændring af forudsætningerne for placeringen af tilslutningskantens tangentpunkt. Selvom denne ændring vil være uden betydning i praksis vil den være tilstede.

Den største ændring af krydset som helhed opstår ved en ændring af bredderne på primærvejen. Dette gælder både køresporn og hellebredden. Ændringer af disse vil umiddelbart medføre en komplet flytning af hele sekundærhellen og begge tilslutningskanter, det vil med andre ord sige en komplet nyttegning af hele krydset. På den måde vil en ændring af f.eks. primærhellens bredde samtidig medføre en ændring i længden hidrørende fra sekundærhellens slæbekurver, idet disse er direkte afhængige af bredden på primærhellen.

Man kan tale om en form for kædereaktion i forbindelse med disse afhængigheder. Men denne kædereaktion er ikke dobbeltrettet, forstået på den måde, at en ændring det ene sted kan medføre en ændring det andet sted, men ikke igen det første sted.

Den multidynamiske håndtering af krydselementerne bliver problematisk, idet der kræves et så stort antal beregninger, at en reel interaktiv dynamisk flytningen af hele krydset ikke vil være mulig, så længe edb-maskinerne ikke er

hurtigere end de er. Der vil kunne foretages enegentlig dynamisk flytning af det delobjekt, man arbejder med. Men hvis andre dele af krydset kræves flyttet med, vil dette først kunne ske, når trådkorsets placering og dermed udformningen af delobjektet er valgt. En nyttegning af hele krydset med de nye geometriske forudsætninger vil herefter kunne finde sted.

## **Krydset set i en større sammenhæng**

Er flere kryds placeret tæt op ad hinanden, vil problemstillingen omkring den afhængighed, der optræder mellem krydssets enkelte dele og de involverede kryds imellem, give multidynamikken helt nye anvendelsesmuligheder.

Den eneste løsning, der vurderes at være realistisk, er at de objekter, som vi have mulighed for sammenfald med andre kryds, "husker" på hvilket grundlag eller under hvilke forudsætninger de er opstået. Hvis f.eks. en kørebane kant i den ene ende af krydset ændres på grund af et andet kryds, må førstnævnte kryds selv være i stand til at finde det oprindelige objekt og foretage en ændring ved tilslutningen. Dette er en forudsætning for, at der igen kan opnås kontinuitet ved kørebane kanten og ved "samlingen" mellem de to implicerede kryds.

Det er nødvendigt, at der i forbindelse med objekterne åbnes mulighed for lagring af langt flere geometriske egenskaber, end objekterne besidder i dag. I dag er de tegnede objekter for maskinen kun et nummer, og dette er ikke tilstrækkeligt, når disse skal indgå i sammenhængen beskrevet ovenfor. Da systemene i tiltagende grad bliver objektorienteret, vurderes det imidlertid, at det ikke er urealistisk, at en sådan afhængighed imellem flere kryds vil kunne etableres fremover, hvor også maskine kapaciteten forventes at vokse drastisk.

Den ovenfor beskrevne objektafhængighed er kun i et meget beskedent omfang implementeret i MIK-krydsprojekteringsystemet til dato.

# 5

## Program- dokumentation

---

I det følgende afsnit præsenteres en gennemgang af den teori og metode, der ligger bag det egentlige programsystem MIK. Programmet er under stadig udvikling, og det vil være helt umuligt at få alle nuancer med i denne beskrivelse. Med nuancer forstås her de programtekniske foranstaltninger, programbetinger og begrænsninger, det er nødvendigt at opstille for at få programmet til at beregne og tegne rigtigt udfra de korrekte forudsætninger. Især ved den multidynamiske del af systemet er det vigtigt, at systemet hele tiden fortolker trådkorsets placering korrekt i forhold til den ønskede ændring af den geometriske konstruktion.

Til opbygning af programmet har det været nødvendigt at udvikle og opstille en lang række formler til beskrivelse af de geometriske størrelser, der beskriver krydsets enkelte dele, idet vejreglerne kun angiver en manuel metode til optegning af krydset. Formlerne i afhandlingen er så at sige slutresultatet af selve udledningen af disse. Der er ikke givet nogen detaljeret fremstilling af

hvordan man kommer frem til disse formler, fordi udviklingen har fundet sted på baggrund af rimeligt simple geometriske modeller. Dette skulle sætte enhver ingeniør i stand til at komme frem tillignende udtryk. De anvendte geometriske størrelser har primært været baseret på simpel trigonometri, hvilket meget tydeligt fremgår ved bestemmelsen af tilslutningskanterne. Men også ved sekundærhellen blev de geometriske elementer i denne konstruktion fundet ved brugen af trigonometri. Ved primærhellen er opstillet et udtryk på baggrund af cirkelns ligning. De interpolationer der foretages er grundlæggende lineære hvilket godt kan diskuteres, men de fremkomne løsninger ser meget acceptable ud. Enkelte af formeludtrykkene er fundet delvist ad empirisk vej. Til påvisning af formlernes rigtighed kan nævnes, at samtlige formler er programmeret ind i systemet og ingen fejl er blevet fundet. De empiriske formler er blevet justeret under programmeringen for at give et bedre resultat.

I udviklingen af det multidynamiske krydsprojekteringssystem har det været nødvendigt at træffe en del valg og udnytte en del ny edb-teknisk viden. Valget faldt på CAD-systemet AutoCAD, hvilket indebar indlæring af en del nyt stof. Her var det fra starten nødvendigt at lære programmeringssproget AutoLisp til AutoCAD, for at få en grundlæggende viden om systemets interaktive tegningsdele. Herefter forudsattes brug af C-programmeringssproget /Kernighan, 1991/, hvilket gik relativt smertefrit, grundet forfatterens forhåndskendskab til Pascal. Fra C gik skridtet videre til ADS (AutoCAD Development System). Dette er et slags programbibliotek til C, der muliggør interaktiv programmering i AutoCAD. Efter at alle disse skridt var taget, blev det første program produceret, dvs. tilslutningskanten med tre-cirkelbuer og dynamisk ændring af radius  $R_2$ 's størrelse (se figur 5.7). Ligeledes blev det første skridt taget vedrørende sekundærhellen med bl.a. dynamisk forandring af hellebredden. Rigtigheden af ideen i systemet var nu efterprøvet, og hvad der måske var vigtigere: det kunne lade sig gøre. Men der opstod et problem, som på daværende tidspunkt ikke så ud til at kunne løses. Ideen med programmet er netop den intelligente sammenkædning af krydsets enkelte dele, således forstået at hvis noget forandres på den ene del af krydset, så skal andre dele have mulighed for at flytte med. Dette forekom i første omgang uoverskuelig a

programmere. Redningen lå hos ViaNova i Oslo og C++, som er et objektorienteret programmeringssprog.

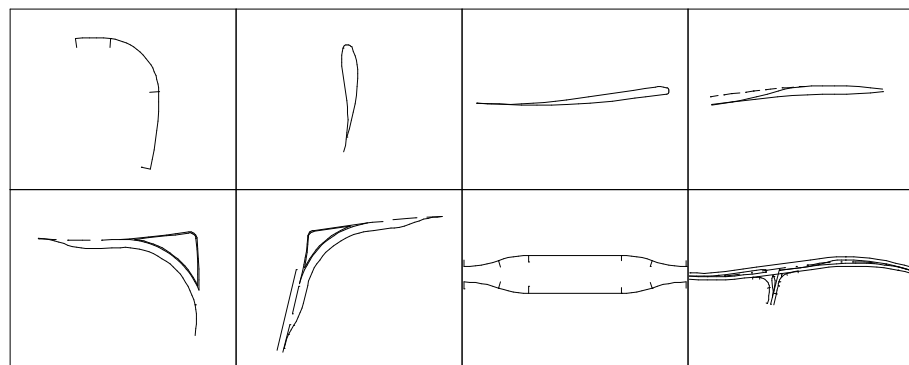
Fra starten af blev der etableret et samarbejde med ViaNova, men først i den senere fase af projektet opstod der for alvor kontakt med dette firma, der udvikler af vejprojekteringssystemet NovaCAD. ViaNova arbejder i deres udvikling med nogle af de samme filosofier og ideer som præsenteres i denne afhandling - ikke helt så gennemført, men i samme retning. ViaNova foretager stort set al deres udvikling på C++, og har et C++ udviklingsmiljø der i høj grad er professionelt. ViaNova blev meget interesseret i det udviklingsarbejde, der blev gennemført i forbindelse med afhandlingens krydsprojekteringsprogram, og forslog at lægge hele systemet over på C++. I løbet af en måneds ophold hos firmaet blev systemet videreudviklet længere end forfatteren hidtil havde formået på over et år. Systemudviklingens programmeringstekniske del er herefter blevet udarbejdet hos ViaNova, der er i færd med at indpasse programmet i deres øvrige programpakke. Forfatteren har bistået med stort set al teori og metodeudvikling til programmet. Dette gælder primært for de grundlæggende designdele, der kan tilbageføres til vejreglerne, ViaNova har udviklet programmet yderligere på mange områder, og nogle af disse er beskrevet her i afhandlingens programdokumentation. Videreudviklingen ligger på den programmeringstekniske side og ikke på det teoretiske grundlag.

I de følgende afsnit skal det forsøges at præsentere den teoretiske del af programsystemet, hvis udvikling har været genstand for denne afhandling. Denne del af afhandlingen er som i afsnit 4.4 opdelt i de samme dele som den geometriske beskrivelse af krydset. Præsentationen vil blive indledt med en kort beskrivelse af den værktøjskasse (5.1) som har været præsenteret i kap 4. Herefter vil tilslutningskanten (5.2), sekundærhellen (5.3) og primærvejens konstruktion (5.4) blive præsenteret ud fra en beskrivelse af beregningsmetoden, beregningsforløbet, hvor de geometriske formler vil blive præsenteret, og den multidynamiske funktion. Endelig afsluttes hvert afsnit med en vurdering af de enkelte dele af krydset, som en slags delkonklusion.

Yderligere er der til brug for mellemberegninger udviklet nogle programtekniske formler, som ikke har kunnet findes i en formelsamling. Disse mere generelle formler fremgår af afsnit 5.5 idet de benyttes flere steder og kan have generel interesse.

## 5.1 Beskrivelse af værktøjskassen

I det følgende beskrives opbygningen af værktøjskassen. Dette gøres ud fra det menubillede fra NovaCAD, som netop indeholder en oversigt over hvilke muligheder der ligger i krydsmodulet. Dette indeholder dedele krydset er opdelt i og dermed også kan samles af igen.



*Fig. 5.1 Skitse af værktøjskassen som den kunne tage sig ud i NovaCAD.*

I menuen vist i figur 5.1 fremgår en række ikoner (små billeder) indeholdende illustrationer af dele af krydset eller som ses af den nederste ikon til højre for hele krydset. Man udvælger således i første omgang hvilke(t) krydsdel element(er) man ønsker at etablere i sin konstruktionstegning. Man kan her også



vælge at få optegnet et komplet vejkrøds. I samme menu tænkes en tilgang til standardparameterværdierne og udtegningsprogrammet DRALIN etableret. DRALIN er et centralt NovaCAD-program, der styrer al udtegning af de såkaldte ti-tabeller, som beskriver et geometrisk sammenhængende linieførøb i vejprojekteringssystemet. Krødset bliver ligeledes konstrueret op på grundlag af ti-tabeller, idet alle sammenhængende linier i krødset dannes ved oprettelse af en sådan tabel.

Efter udpegning af de to centerlinier for de skærende veje optegnes de udvalgte dele omkring dette skæningspunkt. Efter selve etableringen af disse dele starter redigeringsarbejdet, idet delene er udtegnede efter standardparametre, som fremgår sidst i dette afsnit.

Redigeringen foregår i første omgang med de multidynamiske redigeringsværktøjer. Ved udpegning af det delelement i krødset, man ønsker at ændre, aktiveres det delprogram, som har oprettet denne del. Herved ændres menuen i højre side til redigeringsformålet. Se figur 5.2, der viser dette billede for sekundærhellen. De enkelte dynamiske redigeringsværktøjer fremgår af denne menu. Af figur 5.2 fremgår således, at  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $h_b$ , top og bund kan ændres dynamisk (se herfor også afsnit 4.4 og figur 4.16).

En væsentlig detalje i krødsmodul er systemets mulighed for at genskabe allerede gennemførte geometriske konstruktioner. Dette gøres ved, at alle nødvendige parametre, som beskriver krødset, inklusive dem til den dynamiske forandring, gemmes i en database, som således holder sammen på alle data i krødset. Samme database indeholder det digitale kort, topografiske data, gennemførte vejprojek-

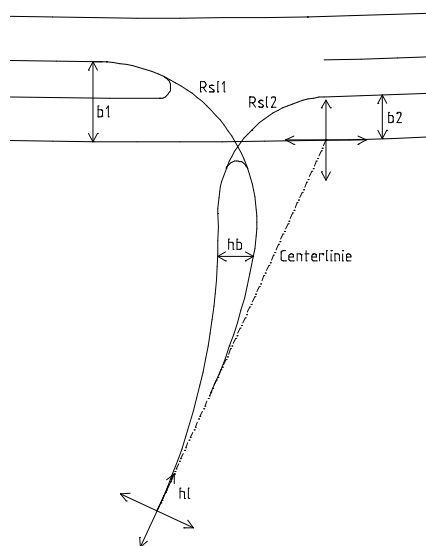


Fig. 5.2

*Dynamiske funktioner ved sekundærhellen.*

ter m.m. Denne database kan således benyttes til at udføre det man kalder associativ konstruktion, hvilket ikke må forveksles med den multidynamiske designmetode, som baserer sig på associativ tænkemåde hos mennesket. Ved associativ konstruktion er det maskinen som kan associere imellem forskellige konstruktionsdele af én samlet konstruktion. Maskinen kan således videregive oplysninger, som ændres i en del af konstruktionen, til en anden del, hvor denne ændring også har betydning. Associativ konstruktion benyttes også i MIK, men her omtales den som afhængighed imellem krydssets enkelte dele.

Lagring i databasen er ganske nødvendig for et intelligent system, men som tidligere nævnt er der ikke to kryds, der er ens. Dette medfører, at den projekterende kan blive tvunget til at redigere i krydskonstruktionen på steder, hvortil der ikke er udviklet multidynamiske redigeringsværktøjer. Hvis man således redigerer yderligere i tegningen med standard AutoCAD tegnerutiner, vil disse ikke blive registreret som hørende til krydset. En efterfølgende redigering med de multidynamiske værktøjer vil således slå fejl, idet dele af konstruktionen kan være slettet eller blot ændret, uden at krydsprojekteringssystemet kender til disse ændringer. Dette er en meget væsentlig pointe, som skal understreges på det kraftigste. Problemet er, at det er meget svært at styre denne form for egenhændig redigering, der bliver foretaget uden kontrol af krydsprojekteringssystemet, idet den sammenhængende geometri ikke længere er givet efter en sådan form for redigering. Det vil næppe kunne undgås, at der skal rettes i en tegning på et sted, hvor krydsprogrammet ikke har kontrol over udtegningen, men disse redigeringer bør foretages på et meget sent tidspunkt af projekteringsfasen og kun omfatte "løse ender", f.eks. korrekte tilslutninger til eksisterende geometrier.

Et større problem er afmærkningen, for hvilken der i dag ingen dynamiske værktøjer er udviklet. Hvis afmærkningen etableres i krydset ved delvis manuel optegning og krydset derefter redigeres dynamisk til en ny geometrisk form, vil en del arbejde være spildt. Frustration over denne løsning kan kun undgås ved hurtigst muligt at udvikle dynamiske afmærkningsprogrammer, som kan samarbejde med krydsprojekteringsprogrammet. Foreløbig må der som nævnt opfordres til at foretage den egentlige færdiggørelse af tegningen på et

forholdsvis sent tidspunkt i projekteringsfasen, så de store ændringer principielt kan udelukkes.

En form for udvidet associativ konstruktion vil kunne afhjælpe noget på dette problem. Den udvidede associativitet kunne f.eks. dække over den i afsnit 4.5 beskrevne situation, hvor to kryds skal kobles sammen ved deres "endepunkter". Andre anvendelsesmuligheder er supplerende af objekter tilkrydset, som ingen direkte tilknytning har, men som gives en tilknytning ved at udpege elementer i krydset, som kan associeres til det nye objekt. Ved en dynamisk flytning af disse elementer vil det ved en transformation af objektet være muligt at etablere en dynamisk forandring for dette objekt. Hvis venstrevindingssporet vælges udført længere, vil en udvidet associativ binding til f.eks. afmærkningen gøre, at afmærkningen ligeledes ændres, selvom den ingen umiddelbar kobling har til krydsprojekteringsprogrammet som udfører ændringen. Den udvidede associative konstruktion er foreløbig kun en tænkt mulighed og næppe aktuell de første år, men det vurderes, at en sådan konstruktionsmulighed på et senere tidspunkt vil blive etableret i CAD-systemet NovaCAD.

## Standardparametre i MIK.

Følgende værdier vælges som standardparametre i MIK-programsystemet:

$R_1 : R_2 : R_3 = 2,5 : 1 : 5,5$ (2,0:1:5,0*)	
hb	= 1,5m (hellebredde på lille helle)
hl	= 25m (konsekvens af hb)
b1	= 3,8m (venstresvingsspor med afstribning)
b2	= 7,3m (venstresvingsspor med 3,5m kørespor)
R <sub>s</sub>	= 50m (anbefales i vejreglerne)
R <sub>t</sub>	= 1,0m (konsekvens af hb)
R <sub>b</sub>	= 0,75m (konsekvens af hb)
K <sub>t</sub>	= 0,5m (kantstenstillæg)
V <sub>d</sub>	= 100km/h (dimensionsgivende hastighed)
a	= 0,3m (bredde af dobbelt spærrelinie ved venstresvingsspor)
b	= 3,5m (bredde på venstresvingsspor)
i	= 1,9m (symmetrisk udvidelse)
K <sub>b</sub>	= 3,5 m (Køresporsbredde på normal dansk (hoved)landevej)

\* I Danmark er man, ligesom i Norge og Tyskland, ved at gå over til dette nye forhold. Undersøgelserne, der giver anledning hertil, kendes ikke.

## 5.2 Tilslutningskanten

Tilslutningskanten danner en hjørneafrundning ved en vejudmunding. Den korrekte geometriske figur, hidrørende fra et køretøjs svingmønster, er temmelig kompliceret og næppe praktisk muligt at etablere. I Danmark blev der i 1968 afleveret en undersøgelse<sup>6</sup> af lastbilers slæbekurver ved kørsel omkring hjørner. Af denne rapport fremgår det, at en kurvesammensætning med tre cirkelbuer er det nærmeste, man kan komme en rationel løsning, taget i betragtning, at tilslutningskanten skal udføres i praksis. Denne løsning fremgår af de tyske vejregler, der kan føres tilbage til "Die Bordsteinführung" /Krenz, 1964/, hvor der er opstillet udtryk til at bestemme afsætningspunkter herfor. De arealbehovskurver, som vejreglerne foreslår benyttet i dag, er i øvrigt tegnet efter den matematiske model, man kom frem til ved denne undersøgelse. Den matematiske model af slæbekurven vil på et senere endnu ikke fastlagt tidspunkt indgå i krydsmodulet, men vil ikke blive omtalt yderligere i denne afhandling.

For veje i det åbne land udføres tilslutningskanten derfor normalt som tre cirkelbuer. Andre løsninger, som typisk optræder i byer, er to-cirkelbuen og én-cirkelbuen, der i sigens natur er ret simple. Se følgende figur 5.3 for illustration af de tre løsningsprincipper.

---

<sup>6</sup>Tilslutningskanter, kørebaners kurveforløb ved vejtilslutninger, Vejdata-laboratoriet v/ Ivar Schacke, rapport 8, 1968.

---

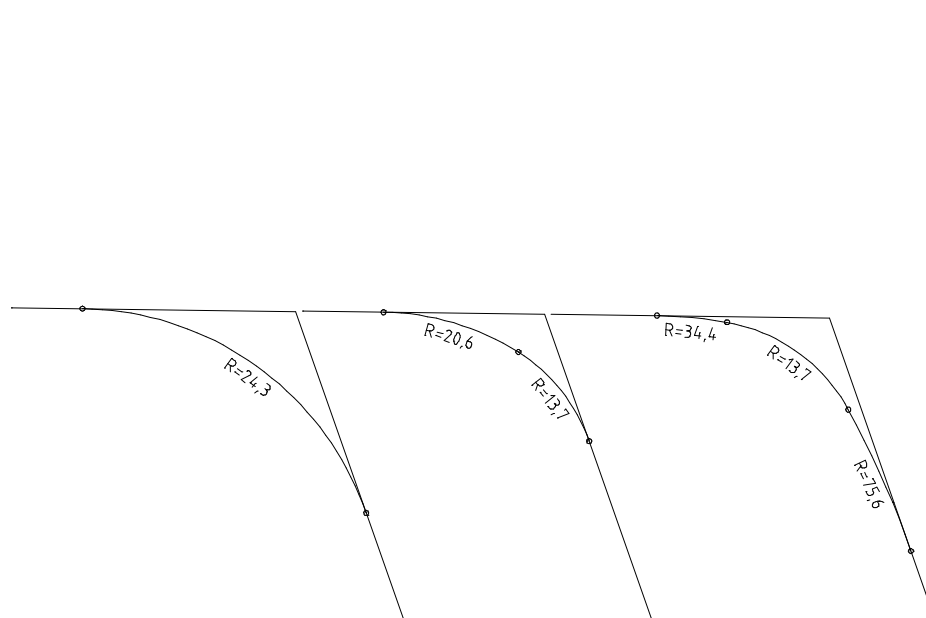


Fig. 5.3 De tre løsningsprincipper for tilslutningskanten.

## Beregningsmetoden

For at kunne udtegne en tilslutningskant hvadenten den består af en, to eller tre cirkelbuer, kræves tangentpunkterne mellem buerne og kørebanekanten fundet. Disse tangentpunkter beregnes ud fra to tangentlinier, som dannes af kørebanekanterne. Udgangspunktet for beregningen er skæringspunktet mellem disse tangentlinier. Tangentpunkterne bestemmes som længder og indryk ud fra dette punkt. Af denne grund er det meget væsentligt at vide langs hvilke kantstø drejningen ønskes foretaget, idet for mange løsninger ellers er mulige. I det øjeblik kørebanekanterne reelt skærer hinanden er der fire mulige løsninger ved udpegning af de to linier. Dette styres i programmet ved først at udpege kørebanekanten for tilfarten, og derefter kørebanekanten for frafarten.

For rette tangentlinier (kørebanekanter) er denne metode ligetil, men for kurvede kanter er der behov for en iterativ proces, hvor man forsøger sig frem hen imod en rigtig løsning. Hertil er udviklet en iterationsproces, som ud fra et gæt omkring placering af rette tangentlinier på buen (eller buerne) itererer sig frem til en løsning, hvor cirkelbuerne (1,2 eller 3) rammer eksakt. En yderligere komplikation optræder, når kørebanekanten ersammensat af cirkelbuer og rette linier, hvilket medfører skiftende forudsætninger for beregningen. Også her er der ved valg af den rette iterationsproces sørgt for, at den korrekte løsning kan

findes. Iterationsprocessen vises på skærmen, hvor man således kan følge beregningen, selvom processen sommetider forløber ekstremt hurtig. Vælger man et dynamisk ændringsforløb med iterationsprocessen aktiv, vil dette være meget krævende for maskinen og dynamikken vil kunne optræde med kraftige ryk imellem de enkelte optegninger. I disse tilfælde bør man flytte trådkorsene meget varsomt, så maskinen kan nå at følge med i sine beregninger og udtegninger.

## Beregningsforløbet

De tre konstruktionsløsninger præsenteres i det følgende, idet formlerne for beregning af tangenthængderne præsenteres. Til hver løsning præsenteres en figur med angivelse af indgående variable.

### TRE-CIRKELBUEN:

Formlerne hertil er som nævnt hentet fra /Krenz, 1964/ og for yderligere information henvises til denne bog.

Forudsætning:

- $\gamma = \alpha + \beta + \delta$
- $\alpha : \beta : \delta = 1 : 5,5 : 1$
- $R_1 : R_2 : R_3 = 2,5 : 1 : 5,5$  (Dette forhold er tilgængeligt i programmet via standardparametre)
- 2 rette tangentlinier
- $\gamma$  og  $R_2$  kendes (R2 bestemmes afhængigt af typen på den dimensionsgivende køretøj, ifølge de danske vejregler)

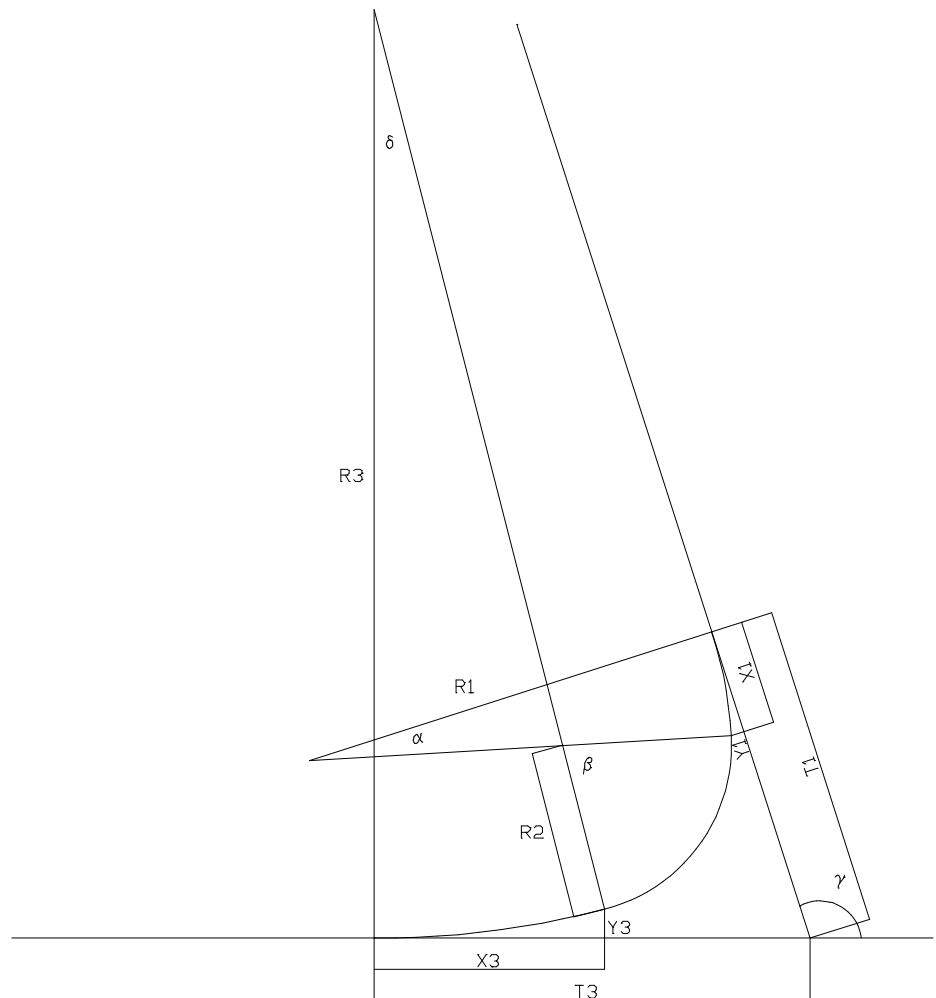


Fig. 5.4 Tre-cirkelbue med indgående variable.

$$X_1 = R_1 \cdot \sin \alpha \quad (5)$$



$$Y_1 = R_1(1 - \cos \alpha) \quad (6)$$

$$X_3 = R_3 \cdot \sin \delta \quad (7)$$

$$Y_3 = R_3(1 - \cos \delta) \quad (8)$$

$$T_1 = (R_1 - R_2) \cdot \sin \alpha + \frac{R_3 - (R_3 - R_2) \cdot \cos \delta}{\sin \gamma} - \frac{R_1 - (R_1 - R_2) \cdot \cos \alpha}{\tan \gamma} \quad (9)$$

$$T_3 = (R_3 - R_2) \cdot \sin \delta + \frac{R_1 - (R_1 - R_2) \cdot \cos \alpha}{\sin \gamma} - \frac{R_3 - (R_3 - R_2) \cdot \cos \delta}{\tan \gamma} \quad (10)$$

#### TO-CIRKELBUEN:

To-cirkelbuen bestemmes ud fra nedenstående figur. Formlerne er også her fundet ved simpel trigonometri. Resultaterne heraf fremgår af det følgende incl. figur 5.5, der viser de indgående variable.

Forudsætninger:

- $R_1$  og  $R_2$  er kendte (eller én af de to størrelser og forholdet imellem dem).
- $\alpha + \beta$  er kendt (eller  $\gamma$  og forholdet imellem vinklerne  $\alpha$  og  $\beta$ ).
- to rette tangentlinier.

$$T_1 = R_1 \cdot \frac{2\sin^2\left(\frac{\beta}{2}\right)}{\sin\beta} + L \cdot \frac{\sin\alpha}{\sin(200-\alpha-\beta)} \quad (11)$$

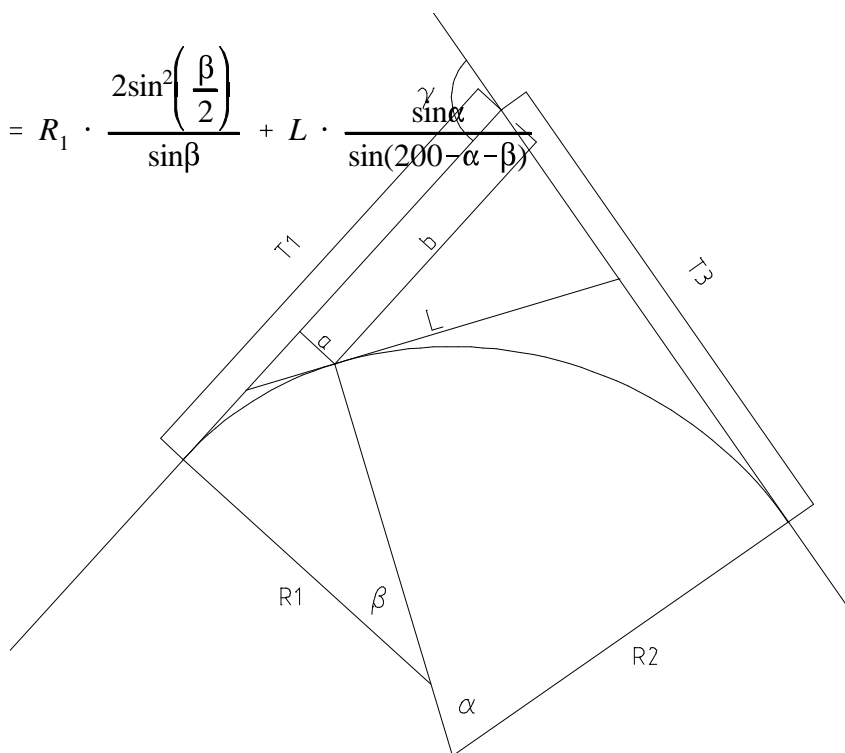


Fig. 5.5 To-cirkelbue med indgående variable.

$$a = R_1 \cdot 2\sin^2\left(\frac{\beta}{2}\right) \quad (13)$$

$$T_2 = L \cdot \frac{\sin\beta}{\sin(200-\alpha-\beta)} + R_2 \cdot \frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\sin\left(\frac{(200-\alpha)}{2}\right)} \quad (12)$$

$$b = T_1 - \frac{a}{\tan\left(\frac{\beta}{2}\right)} \quad (14)$$


Her er L en mellemstørrelse, som fremgår af følgende udtryk:

$$L = R_1 \cdot \frac{2\sin^2\left(\frac{\beta}{2}\right)}{\sin\beta} + R_2 \cdot \frac{\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\sin\left(\frac{200-\alpha}{2}\right)} \quad (15)$$

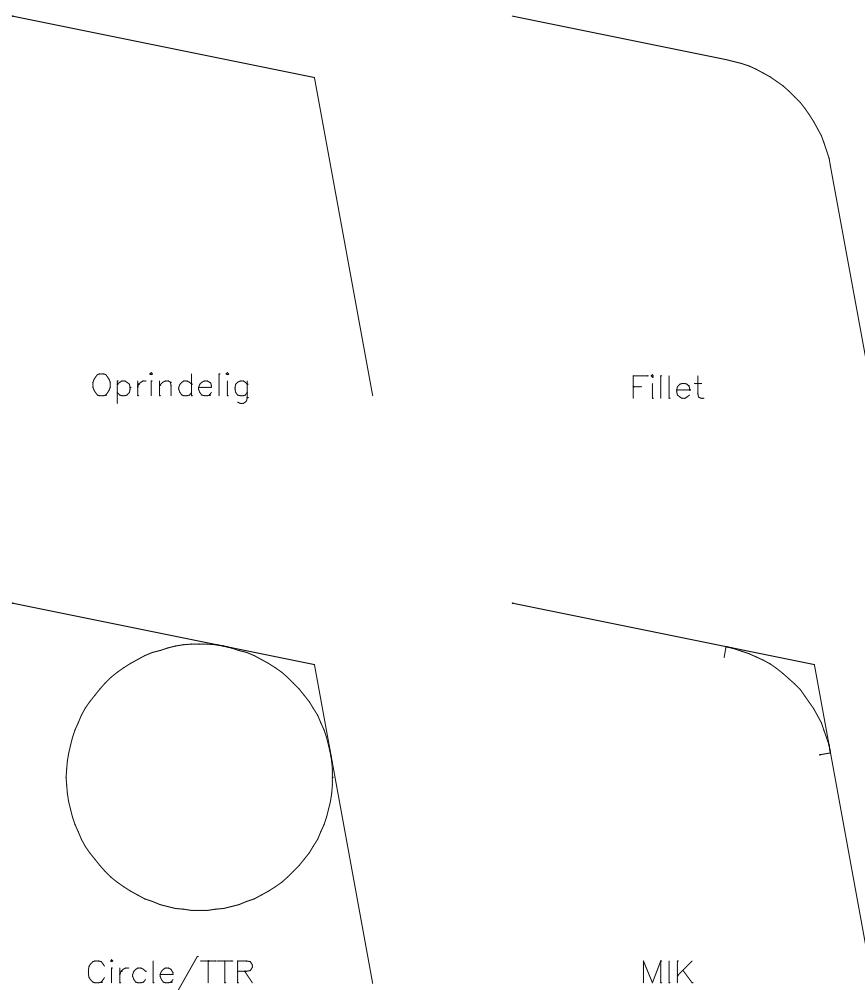
ÉN-CIRKELBUE: 

Én-cirkelbuen løses simpelt, idet der gælder:

$$T_l = R \cdot \tan\left(\frac{\gamma}{2}\right) \quad (16)$$

Selvom dette udtryk er simpelt og selvom CAD-programmet selv vil kunne udføre denne funktion, er der umiddelbart tre gode grunde til at tage den med i værktøjskassen. For det første for at komplementere værktøjskassen på 

måde, der foranlediger den projekterende til at tænke over, hvilken af de (foreløbig) tre kurvekombinationer, der bør vælges. For det andet vil AutoCAD's standardfunktion "Fillet" afrunde de eksisterende tangentlinier, hvilket givetvis ikke vil være ønskeligt i de fleste tilfælde, og AutoCAD's funktion "Circle" med TTR (tangent, tangent, radius) vil tegne en hel cirkel. For det tredje kan iterationsprocessen benyttes, selvom der kun er én løsning for det geometriske problem. Programmeringsteknisk vil dette også være mere overskueligt. Se de forskellige konstruktionsprincipper vist i figur 5.3.



*Fig. 5.6 Forskellige konstruktionsprincipper for dannelsen af en tilslutningskant med en én-cirkelbue.*

## Multidynamisk funktion

Beskrivelsen her tager udgangspunkt i de principper, som er præsenteret i afsnit 4.4. Således bestemmes trecirkelbuens udstrækning ved trådkorsets placering, der bestemmer størrelsen af radius  $R_2$ . Dette sker ved, at trådkorsets placering defineres vinkelret på cirkebuens (tilslutningskantens) udbredelsesretning, som ligger på en ret linie, se figur 5.7 .



størrelse er afhængig af vinklen for tangentretningen  $\gamma$ , bliver der foretaget to gennemregninger, én for  $R_2$  bestemt ud fra køretøjstypen og én for  $R_2 = R_2 + 1\text{m}$ . Udfra disse beregninger bestemmes den reelle afstand mellem cirkelbuernes midtpunkt med radierne  $R_2$  og  $R_2 + 1\text{m}$ . Denne afstand sættes i forholdet til  $1\text{m}$ . Når trådkorset således bevæges en vis afstand langs buernes udbredelsesretning, benyttes forholds-konstanten til at finde den radius  $R_2$  denne bevægelse svarer til. Denne værdi benyttes som input til en nyberegning af tilslutningskanten, der på denne måde altid placeres eksakt der, hvor man forventer dette forhold til trådkorsets placering. Det er desværre ikke altid muligt at gøre det så eksakt, som det kan lade sig gøre her ved tilslutningskanten at ækvivalere trådkorsets placering til et bestemt punkt på den multidynamiske geometri. I andre tilfælde, hvor de multidynamiske funktioner indgår, er det meget vanskeligt at beskrive en eksakt sammenhæng. Mindre eksakt kan det også blive for tilslutningskanten, når iterationer skal anvendes til at finde geometriske korrekte løsninger ved kurvede kørebanekanter. I dette tilfælde vil udbredelsesretningen for  $R_2$  ikke længere være lineær, men varierer med iterationsprocessens forløb. Fejlen er dog stadigvæk relativt lille og vil næppe opdages af systemets bruger.

De her skitserede principper bliver tildels også benyttet ved de andre multidynamiske redigeringsfunktioner. Dette gælder i høj grad for to-cirkelbuen og én cirkelbuen.

## Vurdering af værktøjet

Det vurderes, at dette værktøj til fastlæggelse af tilslutningskanten er meget fleksibelt. Kanten kan etableres på alle tænkelige former for geometriske udformninger af kørebanekanter, herunder klotoider. En matematisk hjørne afrunding bestemt ud fra en bestemt køretøjstype savnes dog stadig.

Den multidynamiske funktion giver reelle muligheder for en funktionel placering af kanten. Snapfunktionen til at hægte (snappe) kanten på en eksisterende



geometri er vanskelig her, fordi ønsket om et snappunkt kan være aktuelt på et hvilket som helst sted langs hele kanten. Det er dog ikke muligt at etablere en snapfunktion, der kan få en hel kant til at snappe. Snapfunktionen virker kun for et punkt.

Værktøjet kan yderligere benyttes i mange andre sammenhænge end til afrunding af hjørner i vejkryds. Af denne grund ligger begrænsningerne for de geometriske designmuligheder langt udenfor de områder, som ville være realistiske i forbindelse med en tilslutningskant i et vejkryds.

## 5.3 Sekundærhellen

Sekundærhellen er en ret kompliceret figur, der ydermere er afhængig af andre geometriske forhold, som f.eks. primærvejens udformning. Hellenes konstruktionsprincipper er yderligere afhængig af, i hvilket vinkelinterval man arbejder, dvs. af den vinkel - her kaldet  $\alpha$  - hvormed sekundærvejens centerlinie eller for kurvede sekundærveje den konstruerede forlængelse af centerlinien skærer primærvejen.

Sekundærhellen benyttes til at kanalisere den trafik, som drejer fra primærvejen ind på sekundærvejen (venstresving eller højresving) i forhold til den trafik, som drejer ud på primærvejen fra sekundærvejen (venstreindsving eller højreindsving). Sekundærhellen kan som tidligere nævnt udføres i to forskellige bredder iht. de danske vejregler.

Det specielle ved hellen er, at toppen bliver udformet af slæbekurver (her blot cirkelbuer), som hidrører fra store køretøjers arealbehov langs den venstre side af køretøjet ved hhv. venstresving fra primærvejen og venstreindsving fra sekundærvejen. Udforming af primærvejen får således direkte indflydelse på sekundærvejens udformning. I f.eks. de tyske vejregler vælges radius på disse

slæbekurver til  $R=12\text{m}$ , en værdi som med undtagelse af specielle geometriske tilfælde altid er gældende. Principielt er den tyske vejregels simple forudsætning ganske tilstrækkelig, idet kurven stort set kun benyttes til udformning af helletoppen. Om denne afrunding er 10, 12 eller 14 m er underordnet for funktionskravene, der blot skal sikre tilstrækkelig plads til drejning af den dimensionsgivende køretøjstype.

Placering af primærhellen kan heller ikke efter de danske vejregler med de udvidede krav til slæbekurven bestemmes nøjagtig nok, idet slæbekurven ikke er en cirkelbue, men en mere kompliceret matematisk kurve. Det viser sig også, at netop slæbekurven, som den bliver valgt ifølge vejreglerne ikke giver tilstrækkelig plads til venstresindsving.

## Beregningsmetoden

Hellens geometriske konstruktion afhænger af, om vinklen  $\alpha$  befinder sig indenfor intervallet  $80^\circ$  til  $120^\circ$  eller udenfor. Dette er givet ifølge vejreglerne. Forskellen er, at hellen udføres med hhv. rette sider og buede sider. Ved den "rette" sekundærhelle bestemmes geometrien af fem elementer. Toppå (nærmest primærvejen), der består af tre cirkelbuer og siderne, der består af to rette linier, se figur 5.10. Tangentpunkter imellem disse elementer bestemmes ud fra de formler og procedurer, som er skitseret under beregningsforløbet.

I situationen for den buede sekundærhelle består konstruktionen enten af seks eller af syv elementer, se figur 5.8. Ligger punktet  $h_7$  over  $h_6$  vil der kun blive seks elementer ellers syv. Elementerne består primært af buer, dog er enkelte rette liniestykker sat ind. Til bestemmelse af tangentpunkterne imellem disse elementer henvises også her til det følgende afsnit om beregningsforløbet.

Det centrale udgangspunkt for beregning af sekundærhellener igen vinklen  $\alpha$  mellem sekundærvejens centerlinie og primærvejens centerlinie. Denne omregnes til vinklen  $\beta$ , ved en drejning på  $6^\circ$ , se figur 5.8. Denne vinkeldrejning

bestemmes i vejreglerne ved en drejning af centerlinien med hældingen 1:10, for at gøre det nemmere at konstruere vinkeldrejningen manuelt. De  $6^\circ$  er hentet fra de tyske vejregler og svarer stort set til en hælding på 1:10 ( $\tan(6^\circ) = 0,095$ ). Udfra disse tangentlinier kan hellen dannes. For den kurvede helle gælder principielt samme forhold; dog afbøjes tangenten med en radius  $R_s$  således, at  $R_s$  rammer vinkelret ind på primærvejens kørebanekant.

## Beregningsforløbet

I det følgende skelnes imellem de forskellige konstruktionsprincipper, der er afhængig af vinklen  $\alpha$ . Der skelnes dog kun imellem den rette sekundærhelle og den kurvede. Principielt er der nogle forskelle for den kurvede sekundærhelle hhv. over  $120^\circ$  og under  $80^\circ$ , men disse er relativ små, så en gennemgang af begge konstruktionsprincipper vurderes ikke nødvendig.

Tangentpunkterne er benævnt h1 til h6 (h7 ved den kurvede sekundærhelle), og beliggenheden af disse bestemmes som følger:

TANGENTPUNKTER på SEKUNDÆRHELLEN ( $80^\circ < \alpha < 120^\circ$ ): 

I figur 5.8 gives en oversigt over sekundærhellen og de indgående variable for det ovenfor nævnte vinkelområde.

Beliggenheden af punkterne h1 - h6 bestemmes i den rækkefølge, som er geometrisk nødvendig, og derfor også i samme rækkefølge som programmet gør det.

### Bestemmelse af h1:

Der tages som nævnt udgangspunkt i skæringspunktet mellem primærvejens centerlinie og sekundærvejens centerlinie. Kørebaneanten har den samme tangentretning som primærvejen, og et lokalt koordinatsystem etableres med X-aksen i positiv retning følgende primærvejens kørebaneant fra venstre mod højre og Y-aksen i positiv retning fra sekundærvejen mod primærvejen samt origo i omtalte skæringspunkt. Følgende værdier bestemmes iht. til dette koordinatsystem.

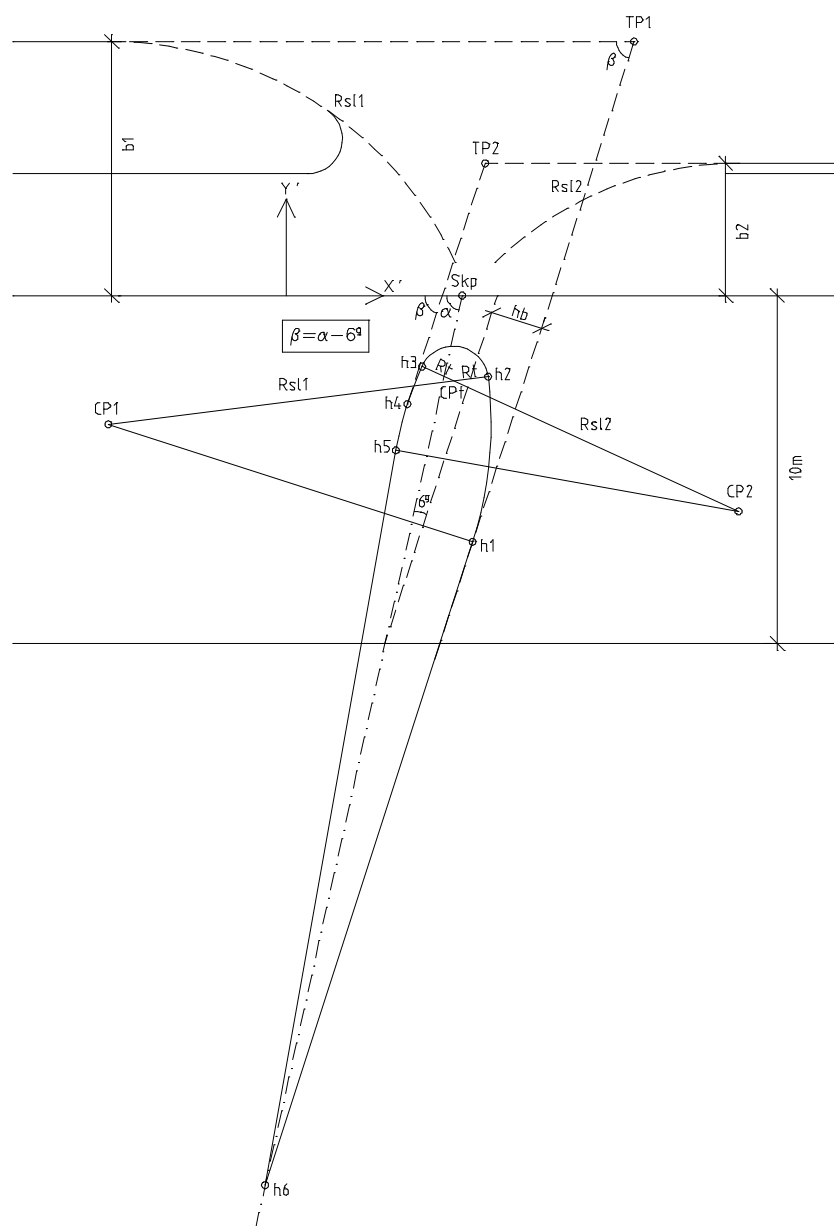


Fig. 5.8 Sekundærhelle for  $80^\circ < \alpha < 120^\circ$  med indgående variable.

X-retning:

$$hl_x = \frac{C + \sin\alpha \cdot hb}{\sin\alpha \cdot \sin\beta} + \frac{bl}{\tan\beta} - R_{SL1} \cdot \tan\left(100 - \frac{\beta}{2}\right) \cdot \cos\beta \quad (17)$$

Y-retning:

$$hl_y = b_1 - R_{SL1} \cdot \tan\left(100 - \frac{\beta}{2}\right) \sin\beta, \quad (18)$$

hvor parameteren  $C = \sin(6^\circ) \cdot 10\text{m} = 0,94108313319\text{ m}$

#### Bestemmelse af h4:

Samme forbehold som for h1.

X-retning:

$$h4_x = \frac{b_2}{\tan\beta} - \frac{\sin\alpha \cdot hb - C}{\sin\alpha \cdot \sin\beta} - R_{SL2} \cdot \tan\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot \cos\beta \quad (19)$$

Y-retning:

$$h4_y = b_2 - R_{SL2} \cdot \tan\left(\frac{\beta}{2}\right) \cdot \sin\beta \quad (20)$$

C har samme værdi som for h1.

h1 og h4 danner således udgangspunktet for den rette hellekonstruktion.

Størrelserne  $R_{SL1}$  og  $R_{SL2}$  bestemmes ved interpolation ud fra graferne i vejreglerne. Se sidst i dette afsnit, hvor disse grafer og deres respektive funktionsudstryk vil blive præsenteret.

### Bestemmelse af h2 og h3.

For at h2 og h3 kan bestemmes, måcentrum CP1 og CP2 for hhv.  $R_{SL1}$  og  $R_{SL2}$  findes først, se figur 5.9. Dette kan ske meget enkelt, idet de skitserede hjælpelinier, se figur 5.8, ligger vinkelret på enlinie med længderne  $R_{SL1}$  og  $R_{SL2}$  og gående gennem henholdsvis punkterne h1 og h4. CP1 findes således ved at gå vinkelret på højre hjælpelinie fra h1 med afstanden  $\div R_{SL1}$ , og CP2 findes ved at gå vinkelret på venstre hjælpelinie fra h4 med afstanden  $R_{SL2}$ . Dette er i programmet løst ved anvendelse af NovaCAD's geometriske objektbiblioteket, der indeholder færdige løsninger for nævnte problemstilling.

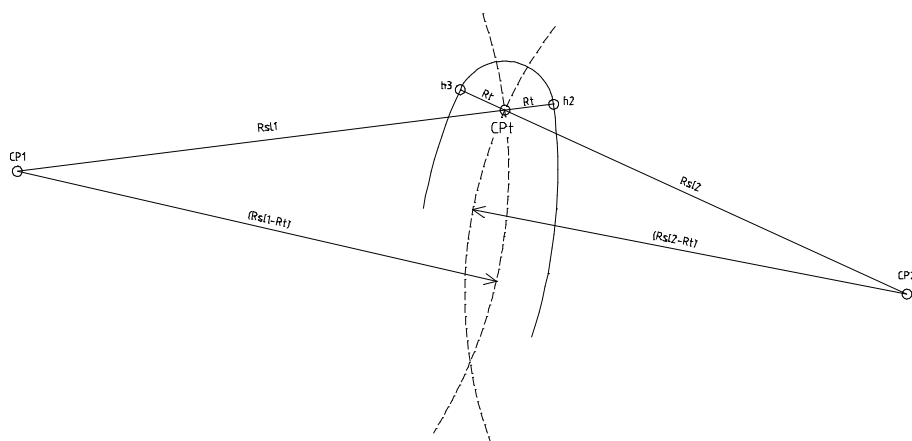


Fig. 5.9 Illustration for bestemmelse af CPt.

h2 og h3 bestemmes nu, idet hellens afrunding i toppen bestemmes. Radiusi

toppen er sat til  $R_t = 1,0\text{m}$  som standard, se også side 109. Dog varierer den med hellebredden ( $h_b$ ), se senere. Topbuens centrum (CPt) findes som skæringspunktet mellem de to slæbekurver med radius ( $R_{SL} - R_t$ ) og centrum i CP1 og CP2, se figur 5.9. Formlerne herfor er af generel geometrisk karakter (skæringspunkter mellem to cirkler). Derfor fremgår disse af afsnit 5.5, hvor generelle geometriske formler, som kan benyttes i programmet, er udledt.

Der vil selvfølgelig være to løsninger. Centrum for topbuen ligger nærmest skæringspunktet mellem kørebanekant og sekundærvejens centerlinie (Skp). En lille algoritme finder det punkt, der ligger nærmest. Herefter findes  $h_2$  ved at forlænge linien mellem punkterne CP1 og CPt videre, så linien får en samlet længde af  $R_{SL1}$ .  $h_3$  findes ligeledes ved at forlænge linien mellem punkterne CP2 og CPt til en samlet længde af  $R_{SL2}$ . Se også figur 5.9.

Ovennævnte kunne naturligvis foretages beregningsteknisk, og formler herfor er givet i afsnit 5.5, men NovaCAD udviklingsmiljøet har nogle færdige objekter til den slags geometriske beregninger. Derfor vælges disse, idet de allerede er afprøvet og bliver brugt af andre udviklere, hvilket giver en sikring for pålidelighed.

### **Bestemmelse af $h_5$ og $h_6$**

$h_5$  og  $h_6$  bestemmes i omvendt rækkefølge.  $h_6$  bestemmes som skæringspunktet mellem sekundærvejens centerlinie og den højre afgrænsningslinie, hvis retning er bestemt af  $tp_1$  og  $h_1$ . Formlerne for denne beregning fremgår af afsnit 5.5, men i selve programmet benyttes forudtalte objektfunktioner til bestemmelse af dette punkt.  $h_5$  bestemmes som tangentpunktet på den venstre afgrænsningsbue  $R_{SL2}$  for linien, som går igennem punktet  $h_6$ . Her er også udviklet formler, som kan benyttes generelt. Også disse fremgår af afsnit 5.5. I programmet benyttes et af de mange objektfunktioner.

Ved bestemmelse af tangentpunktet  $h_5$  gives ligeledes to løsninger. Skæringspunktet nærmest punktet  $h_4$  bestemmes.



### Bestemmelse af TP1 og TP2

TP1 og TP2 kan benyttes til at bestemme CP1 og CP2, hvis ikke NovaCAD's objektbibliotek benyttes. For en ordens skyld gengives formlerne til bestemmelse af længderne iht. skæringspunktet skp.

#### TP1:

X-retning:

$$TP1_x = \frac{C + \sin\alpha \cdot hb}{\sin\alpha \cdot \sin\beta} + \frac{bl}{\tan\beta} \quad (21)$$

Y-retning:

$$TP1_y = b_1 \quad (22)$$

#### TP2:

X-retning:

$$TP2_x = \frac{b2}{\tan\beta} - \frac{\sin\alpha \cdot hb - C}{\sin\alpha \cdot \sin\beta} \quad (23)$$

Y-retning:

$$TP2_y = b2 \quad (24)$$

Formlerne svarer til dem for h1 og h4, idet der blot mangler de sidste led.

Når alle tangentpunkter haves, kan de tre cirkelbuer ( $R_{SL1}$ ,  $R_{SL2}$  og  $R_l$ ) og de to rette linier tegnes imellem disse punkter.

TANGENTPUNKTER PÅ SEKUNDÆRHELLEN FOR  $\alpha < 80^\circ$  OG  $\alpha > 120^\circ$ :

Principielt foretages denne fastlæggelse som for vinkelintervallet  $80^\circ < \alpha < 120^\circ$ , men enkelte beregningsforskelle er der dog. Yderligere skal det understreges, at der ligeledes er forskel mellem vinkelområdet  $\alpha < 80^\circ$  og  $\alpha > 120^\circ$ , idet der ikke kan foretages en simpel spejlvending af funktionerne. Programmet skelner således mellem tre konstruktionsprincipper. I det følgende gengives blot proceduren for  $\alpha < 80^\circ$ , idet beregningsprincipperne er ens for begge vinkelintervaller.

Konstruktionen af denne type helle vil kræve en mere konstruktionsteknik metode end egentlige formelberegninger for at finde de væsentlige koordinater til tangentpunkterne.

Af figur 5.10 fremgår de betegnelser, som bliver benyttet i det følgende.

Tangentlængden ( $TL_S$ ) benyttes i flere sammenhænge. Derfor skal det velkendte udtryk herfor gengives:

$$TL_S = \tan \left( \frac{100 - \alpha}{2} \right) \cdot R_S \quad (25)$$

$R_S$  sættes som nævnt til 50m, hvilket anbefales ifølge vejreglerne

I det følgende bestemmes tangentpunkterne h1 til h7. Det første punkt, som skal bestemmes, er h6.



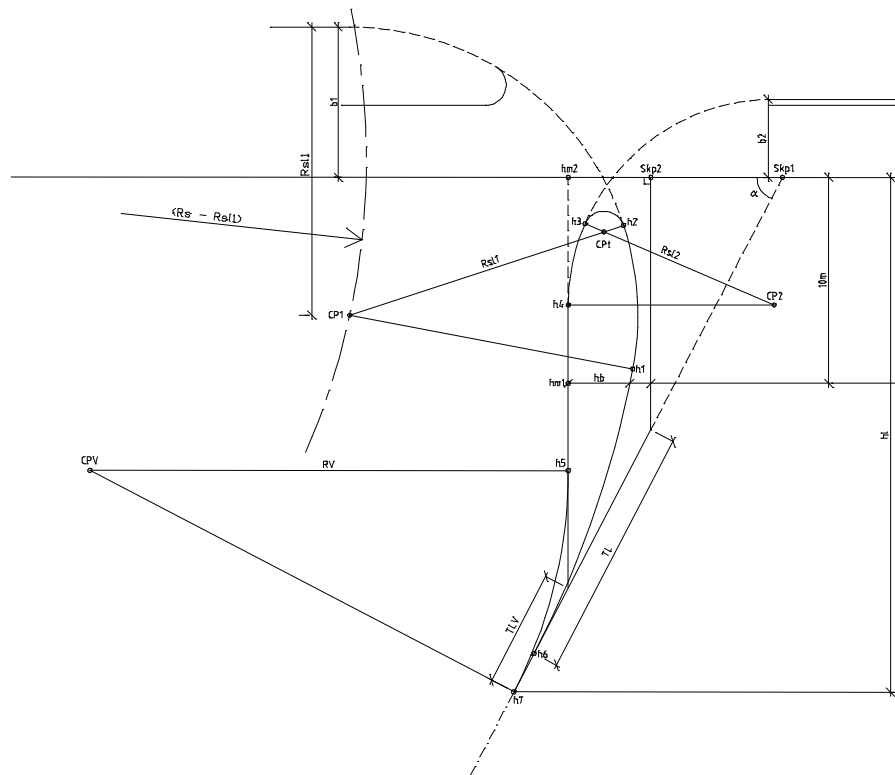


Fig. 5.10 Sekundærhelle for  $\alpha < 80^\circ$  med indgående variable.

### Bestemmelse af h6

X-retning:

$$h6_x = TL_S \cdot \cos\alpha \quad (26)$$

Y-retning:

$$h6_y = TL_S \cdot (\sin\alpha + 1) \quad (27)$$

### Bestemmelse af h1

$R_s$  lægges ind fra h6 til Skp2, hvor cirkelbuen rammer vinkelret ind på primærvejens kørebanekant, se figur 5.10. Kørebanekantens tangentlinje igennem Skp1 og Skp2 parallelforskydes stykket b1.

h1 findes ved at indlægge cirkelbuen  $R_{SL1}$ , der tangerer den parallelforskudte linje og cirkelbuen  $R_s$ . Se figur 5.10. I programmet må først CP1 for buen  $R_{SL1}$  findes. CP1 dannes af skæringspunktet mellem cirklen med radius  $R_s$  og centrum samme sted som  $R_s$  og linien fra Skp1 og Skp2 parallelforskudt b1- $R_{SL1}$  regnet med fortegn i Y-aksens retning, se figur 5.10.

I det følgende bestemmes først to hjælpepunkter, som skal benyttes i det videre konstruktionsforløb.

### Bestemmelse af hm1

X-retning:

$$hmI_x = -hb + R_s \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{100}{R_s^2}} \right) \quad (28)$$

Y-retning:

$$hmI_y = -10m \quad (29)$$

### Bestemmelse af hm2

X-retning

$$hm2_x = -hb + R_s \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{100}{R_s^2}} \right) \quad (30)$$

Y-retning:

$$hm2_y = 0,0 \quad (31)$$

Linien hm1 - hm2 danner den venstre afgrænsningstangent. Kørebane kantø parallelforskydes stykket b2 i y-aksens positive retning og danner tangent for  $R_{SL2}$ , der nu kan indlægges imellem disse to tangenter.

### Bestemmelse af h4

h4 bestemmes herefter som tangentpunktet på  $R_{SL2}$  for tangentlinien hm1- hm2.

### Bestemmelse af h2 og h3

h2 og h3 bestemmes tilsvarende som for sekundærhellen for  $80^\circ < \alpha < 120^\circ$ . Hertil henvises for bestemmelse af disse, se side 127.

### Bestemmelse af h7

X-retning:

$$h7_x = - \frac{hl - TL}{\tan\alpha} \quad (32)$$

Y-retning:

$$h7_y = -hl \quad (33)$$

hl er hellelængden og den er som standard sat til 25m svarende til en lille helle. Interpolationer til andre længder følger på side 137.

Ved meget små eller meget store værdier for vinklen  $\alpha$  vil h6 ligge længere væk fra x-aksen end h7. I såfald skal h7 bestemmes som skæringspunktet på cirkelbuen  $R_s$  i afstanden hl fra kørebanekanten. Dette betyder, at  $R_s$  på det første stykke op mod h7 danner en ny centerlinie for sekundærvejen uden egentlig at danne en helle, idet denne først reelt starter fra punktet h7. I programmet testes på denne betingelse.

### Bestemmelse af h5

For at bestemme h5 i hellekonstruktion skal den venstre afgrænsningsbue med radius  $R_v$  findes. Buens tangentspunkt udgøres længst væk fra X-aksen af h7 og nærmest aksen på den tænkte forlængelse af linien hm1 - hm2 af punktet h5.  $R_v$  bestemmes som cirkelbuen med tangentslængden  $TL_v$ , som findes ved at forlænge tangentlinien hm1 - hm2 hertil sekundærvejens centerlinie. Afstanden fra dette punkt til h7 er tangentslængden  $TL_v$ .  $R_v$  bestemmes herefter af følgende formel:

$$R_V = \frac{TL_V}{\tan\left(\frac{100 - \alpha}{2}\right)} \quad (34)$$

Denne værdi for  $R_V$  benyttes som udgangsværdi. Reelt bør  $R_V$  vælges større af æstetiske årsager, idet små værdier for  $R_V$  vil virke som grimme knæk i venstre kantforløb. I såfald må endepunktet for  $R_V$  accepteres ud over hellelængden på 25m for en standardhelle, som anbefales i vejreglerne. Se figur 5.11, der illustrerer en smal sekundærhelle med en meget lille værdi for  $R_V$  og bred sekundærhelle med en meget stor værdi af  $R_V$ .

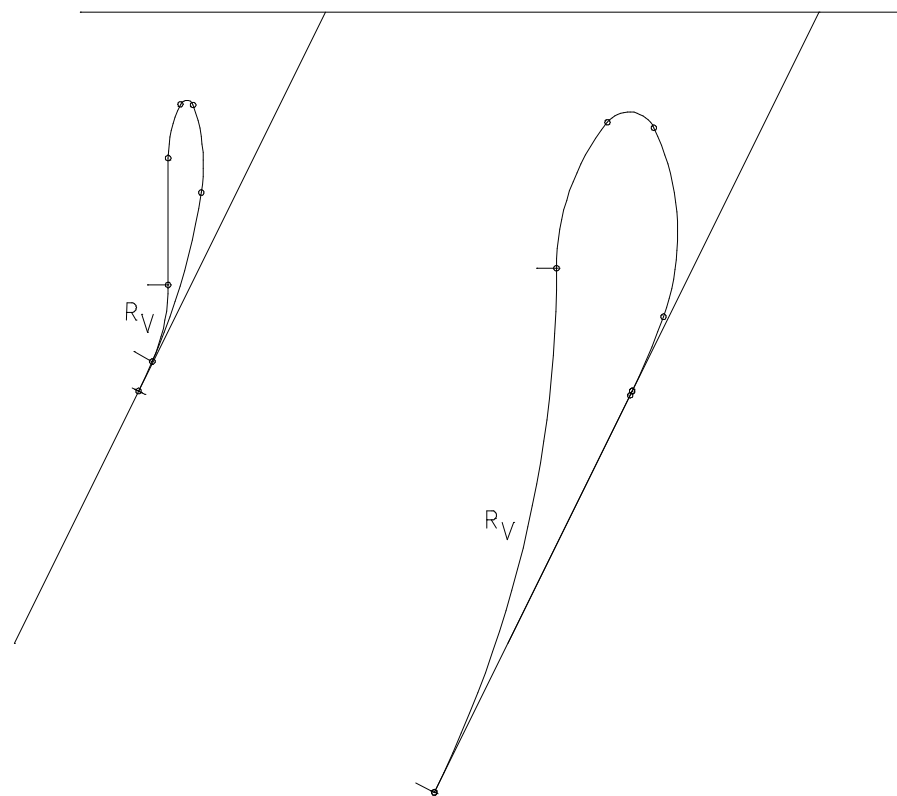


Fig. 5.11 To forskellige situationer for størrelsen  $R_V$ .



Haves situationen, hvor h6 ligger længere væk fra X-aksen end h7 benyttes stedet cirkelbuen  $R_s$  til at finde tangentpunktet h7, dvs. det tangentpunkt, som cirkelbuen  $R_s$  har i afstanden 25m fra primærvejen. Herved tangerer cirkelbuen  $R_v$  og cirkelbuen  $R_s$  hinanden i punktet h7.

Trækkes hellen længere end standardværdien på de 25m for lille helle, vil  $R_s$  som afrunding kunne forandres som følge af h6's placering. Se det følgende.

Bestemmelsen herfor må ske ud fra længden mellem punktet h6 og skæringspunktet Skp1, som betegnes  $|h6, Skp1|$ .

$$|h6, Skp1| = TL_s + \frac{TL_s}{\sin\alpha} = TL_s \cdot \left(1 + \frac{1}{\sin\alpha}\right) \quad (35)$$

⇕

$$|h6, Skp1| = \tan\left(\frac{100 - \alpha}{2}\right) \cdot R_s \cdot \left(1 + \frac{1}{\sin\alpha}\right) \quad (36)$$

Idet  $TL_s$  fandtes som

$$TL_s = \tan\left(\frac{100 - \alpha}{2}\right) \cdot R_s \quad (37)$$

$R_s$  kan herefter findes som følger:

$$R_s = \frac{|h6, Skp1|}{\tan\left(\frac{100 - \alpha}{2}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{\sin\alpha}\right)} \quad (38)$$

Ovenstående ækvivalerer således h6's position med en ny radius  $R_s$ , som benyttes ved "dragging" af hl. Ud fra ny h6 og  $R_s$  bestemmes hele konstruktionen på ny. Denne metode benyttes således til at ændre hellens længde.

For den venstre afbøjningsradius  $R_v$  kan der gøres analoge betragtninger. Følgende sammenhæng fås således mellem  $R_v$  og h7:

$$R_v = \frac{|h7, skip1|}{\tan\left(\frac{100 - \alpha}{2}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{\sin\alpha}\right)} \quad (39)$$

Dette udtryk vil kunne anvendes ved "dragging" af h7. Det mest logiske vil dog være at "dragge" størrelsen  $R_v$ . I så fald skrives formlen om til:

$$|h7, skip1| = R_v \cdot \tan\left(\frac{100 - \alpha}{2}\right) \cdot \left(1 + \frac{1}{\sin\alpha}\right) \quad (40)$$

Når denne længde kendes, kan h7's koordinater bestemmes ud fra vinklen  $\alpha$  og Skp1. Muligheden for en dynamisk forandring af  $R_v$  er ikke bygget ind i MIK endnu. Det skal understreges, at h7's Y-værdi i det lokale koordinatsystem er lig med hl, dvs. hellelængden, der kan sammenholdes med hellebredden. Det vil dog ofte ikke være ønskeligt at gøre hellebredden direkte afhængig af hellelængden. Følgende fås ifølge vejreglerne, der angiver værdier for hellelængden i forhold til hellebredden.

Sekundærhellens længde bliver bestemt ud fra længdemålet 25m for lille helle (1,5m) og 35m for stor helle (2,5m) /5.30.01, 1983/. Ved at forandre hellebredden bør hellens længde selvsagt også ændres. Dette gøres på grundlag af følgende udtryk:

$$hl = 10 \cdot (hb + 1) \quad (41)$$

Denne funktion kan også benyttes ved drag af hellens længde, hvor hellebred-  
den så bliver:

$$hb = \frac{hl}{10} - 1 \quad (42)$$

For  $h_7$  gælder det, at:

$$h_{7_y} = hl \quad (43)$$

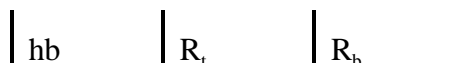
Det fremgår, at både  $hl$  og  $hb$  vil være to af de parameterværdier, man kan følge  
under den dynamiske forandring.

Programkontrol:

Ved "drag" af  $R_v$  må  $h_5$ 's Y-værdi ikke blive mindre end  $h_4$ 's Y-værdi. Hvis  
dette skal være tilfældet, må der gælde  $h_4(x,y) = h_5(x,y)$  og ingen yderligere  
ændring kan ske i denne retning. Dette betyder samtidig at liniestykket fra punkt  
 $h_4$  til  $h_5$  forsvinder og  $R_{SL2}$  buen tangerer direkte over i  $R_v$  buen.

### Bestemmelse af hellespidsens afrundinger

Hellespidsens afrunding af kantlinien i "top" -  $R_t$  - nærmest primærvejen og i  
"bund" -  $R_b$  - fjernest primærvejen, bestemmes ud fra de statiske værdier angivet  
i to tilfælde. I henhold til de danske vejregler bestemmes disse radier som følger  
(alle mål i m):



Lille helle	1,5	1,00	0,5
Store helle	2,5	1,25	0,75

Ved lineær interpolation fås følgende udtryk for radius af hellens "bund":

$$R_b = \frac{1 + 2 \cdot hb}{8} \quad (44)$$

$R_t$  får for  $hb$  under 1,25m for store værdier. Af denne grund forlades den lineære interpolation til fordel for en logaritmisk, der kantage højde for en relativ hurtig formindskelse af værdien  $R_t$  når hellebredden formindskes, men samtidig indebærer relativt normale ændringer af  $R_t$  ved hellebredder i intervallet mellem lille og stor helle samt større bredder. Nedenstående formel er opstillet på et mere eller mindre empirisk grundlag:

$$R_t = 0,63 - \ln(hb) + 0,70 \quad (45)$$

Formlen giver acceptable værdier for  $R_t$ . Det har dog vist sig, at programmet under ganske særlige omstændigheder ikke kan bruge det ovenfor anførte udtryk. Dette skyldes imidlertid andre forhold, som f.eks. af slæbekurverne giver en placering af tangentpunkter, der umuliggør at indlægge en radius  $R_t$ . I så fald vil programmet blot ikke tillade denne konstruktion. I øvrigt forekommer dette problem kun ved konstruktioner, der ikke kan anbefales pga. for smal en hellekonstruktion.

$R_t$  og  $R_b$  angives i spring á 0,25m, dvs. som 0,5; 1,25; 1,75m og ikke eksempelvis 0,45m, fordi en sådan størrelse af kantstenen ikke er standardvare.

### Bestemmelse af slæbekurverne med radius $R_{SL1}$ og $R_{SL2}$

Følgende funktioner er bestemt udfra diagrammerne i "Vejregler for vejkryds i åbent land" /5.30.01, 1983/,

$R_{SL}$  angives altid i hele m.

$120^\circ > \alpha > 80^\circ$

---

Lille helle

$$\begin{array}{ll} R_{SL1}: & 80^\circ, \quad R_{SL1} = 0,644 b1 + 5,819 \\ & 100^\circ, \quad R_{SL1} = 0,872 b1 + 6,585 \\ & 120^\circ, \quad R_{SL1} = 1,026 b1 + 7,923 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} R_{SL2}: & 80^\circ, \quad R_{SL2} = 1,275 b2 + 5,475 \\ & 100^\circ, \quad R_{SL2} = 1,175 b2 + 4,975 \\ & 120^\circ, \quad R_{SL2} = 1,050 b2 + 4,150 \end{array}$$

Store helle

$$\begin{array}{ll} R_{SL1}: & 80^\circ, \quad R_{SL1} = 0,917 b1 + 6,383 \\ & 100^\circ, \quad R_{SL1} = 1,417 b1 + 4,483 \\ & 120^\circ, \quad R_{SL1} = 2,033 b1 + 3,567 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} R_{SL2}: & 80^\circ, \quad R_{SL2} = 1,042 b2 + 10,333 \\ & 100^\circ, \quad R_{SL2} = 1,033 b2 + 7,867 \\ & 120^\circ, \quad R_{SL2} = 0,917 b2 + 6,333 \end{array}$$

*Fig. 5.12 Afrundingsradius  $R_{SLI}$  (m) ved venstreindsving i vinkelintervallet  $80^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$ .*

*Fig. 5.13 Afrundingsradius  $R_{SL2}$  (m) ved venstresving i vinkelintervallet  $80^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$ .*

$\alpha < 80^\circ$  og  $\alpha > 120^\circ$

---

Lille helle

$$R_{SL1}: \quad 0,857 \, b1 + 7,429$$

$$R_{SL2}: \quad 1,125 \, b2 + 5,625$$

Store helle

$$R_{SL1}: \quad 1,317 \, b1 + 5,383$$

$$R_{SL2}: \quad 1,088 \, b2 + 7,917$$


---

*Fig. 5.14 Afrundingsradius  $R_{SLI}$  (m) ved venstreindsving i vinkelintervallet  $\alpha < 80^\circ$  eller  $\alpha > 120^\circ$ .*



*Fig. 5.15 Afrundingsradius  $R_{SL2}$  (m) ved venstresving i vinkelintervallet  $\alpha < 80^\circ$  eller  $\alpha > 120^\circ$ .*

Interpolation mellem disse lineære udtryk skal ske på to måder.

1. Ved en ændring af hellebredden vil interpolationen skulle foretages vertikalt, idet den lille helle er defineret med hellebredden 3m (2 x 1,5) og den store helle er defineret ved en hellebredde på 5m (2 x 2,5). Her ud fra skal der inter/ekstrapoleres.
2. Ved en ændring af hellens længde forandres vinklen  $\alpha$ . Dette vil udgøre den største udfordring, idet der skal interpoleres imellem værdierne svarende til de nævnte konstruktionsmetoder for den rette og for den kurvede sekundærhelle. Dette vil selvsagt medføre en diskontinuitet, som man ikke kan interpolere sig ud af, idet konstruktionen udføres ret så forskellig for hhv. den rette og den kurvede helle. Også for slæbekurverne vil sådanne diskontinuiteter forekomme, idet disse bestemmes i hele m, men rent praktisk har dette ingen betydning.

## **Konstruktion af kantstenen i hellen**

For en ordens skyld skal det nævnes, hvorledes kanstenen i sekundærhella etableres. Principielt sker dette ved, at den konstruerede kantlinie flyttes eller rettere kopieres med kantstenstillægget  $K_t$ , der som standard er sat til 0,5m.

I de danske vejregler står der:

*"Ved den kantstensbegrænsede hellespids fjernest fra primærvejen blødgøres overgangen ved forbigørsel, ved at afstanden mellem hellespiden og tilfartssporet forøges 1,0m ved lille helle og 1,5m ved stor helle",*

se figur 5.16 på næste side.

Denne forøgelse benævnes her  $K_{tb}$  og bestemmes som funktion af hellebredden som følger:

$$K_{tb} = \frac{hb}{2} + 0,25 \quad (46)$$

$K_{tb}$  angives i spring á 0,25m. Den samlede længde, som der skal være plads til imellem venstre og højre helleside, så der kun lige akkurat er plads til helleens cirkelafrunding med radius  $R$  i hellens bund, er følgende, se figur 5.16:

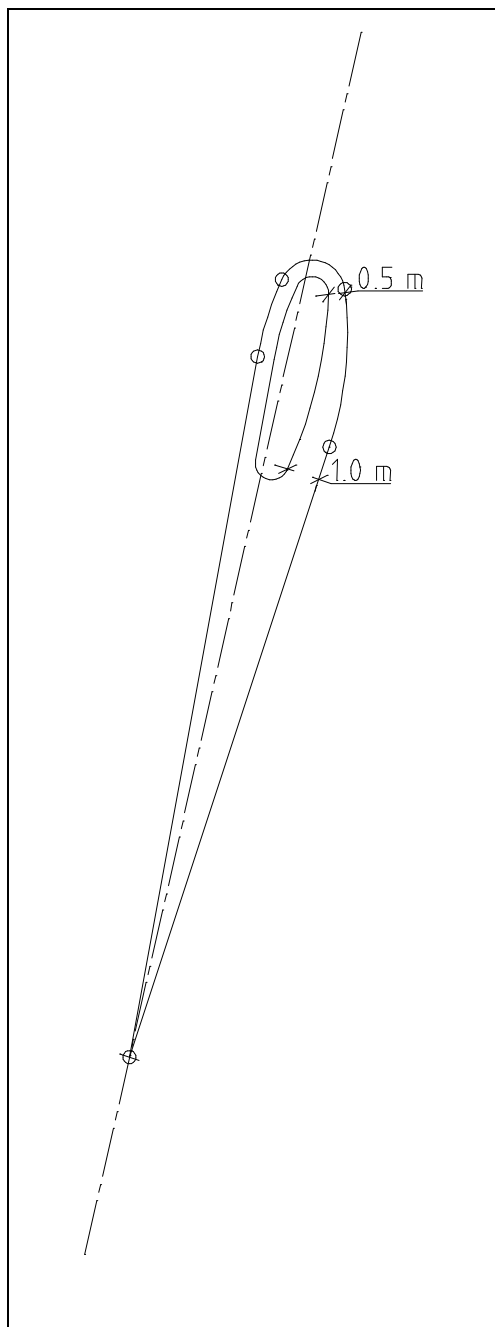


Fig 5.16 Illustration af blødgøring ved lille helle.

$$l = K_{tb} + 2 \cdot R_b + K_t \quad (47)$$

Denne længdes placering findes programteknisk. Programmet starter ved hellens "bund" fjernest primærvejen og "måler" imellem hellens sider; mens det i små skridt nærmer sig primærvejen. Det sted, hvor der er plads til  $l$ , placeres  $R_b$  og blødgøringen etableres, se figur 5.16.

### Multidynamisk funktion

Den multidynamiske funktion ved sekundærhellen er, som det fremgår af afsnit 4.4, mangfoldig, se figur 4.17. Samtidig indebærer denne en del beregninger ved flytning af henholdsvis hellens "top" og hellens "bund".

Hellebredden ækvivaleres med trådkorsets ændring i X-aksens retning i forhold til  $h_1$ 's oprindelige position. Selvom man ved denne ækvivalering af flytningen fornemmer en umiddelbar ændring af hellebredden er den ikke god nok. En eksakt beregning af det punkt på eksempelvis cirkelbuen

$R_{SL2}$ , der ligger længst væk fra sekundærvejens centerlinie og en flytning

herudfra vil umiddelbart være mere korrekt, idet dette punkts afstand til centerlinien netop er hellebredden. I programet angives hellebredden sammenlignet med vejreglernes angivelser, som den dobbelte bredde. På den måde haves den eksakte bredde på hellen fra afgrænsningens venstre side til dens højre side. Ovenstående mere præcise breddeangivelse for hellen vil være meget vanskeligt at etablere ved den kurvede sekundærhelle, og andre metoder må udvikles herfor. Da dette er et meget sekundært problem, er dette ikke berørt yderligere i afhandlingen.

Størrelserne  $b_1$  og  $b_2$  ændres enkelt ved at bestemme trådkorsets afstand i Y-aksens retning i forhold til origo, der ligger på primærvejens kørebanekant. Ligger primærvejen i en kurve, vil dette mål ikke være helt korrekt. Men da afvigelsen er meget lille, vil man ikke kunne se denne. Den nøjagtige placering er ikke afhængig af øjemålet, idet  $b_1$  og  $b_2$  vil kunne etableres med den såkaldte snapfunktion, hvor cirkelbuerne kan hægtes direkte på eksisterende linier. I øvrigt vil  $b_1$ 's og  $b_2$ 's placering næppe have den helt store praktiske betydning, idet endepunkterne på primærvejen kun benyttes til at afrunde primærhellen.

Sekundærhellens "top" flyttes ved, at origo for det lokale koordinatsystem flyttes langs sekundærvejens centerlinie. Principielt parallelforskydes kørebanekanten. Ved denne flytning ændres samtlige forudsætninger for beregningen herunder vinklen  $\alpha$ . Der gives to muligheder: Enten bibeholdes hellespidsets punkt ved hellens "bund", og hellelængden forandres med en flytning af toppen i Y-aksens retning, eller hellelængden forbliver konstant, og bundpunktet følger med ændringen af toppunktet langs sekundærvejens centerlinie. Flytningen bliver direkte afhængig af trådkorset, idet origo for det lokale koordinatsystem bliver samme punkt som trådkorset. En supplerende problemstilling ved denne flytning giver størrelserne  $b_1$  og  $b_2$ , som er afhængige af hellens placering, hvis cirkelbuerne  $R_{SL1}$  og  $R_{SL2}$  skal tangere ved både primærhellen og sekundærhellen. Dette er løst ved, at man enten kan vælge, at  $b_1$  og  $b_2$  ændres med hellens ændrede placering, eller at disse størrelser forbliver uforandrede.

Flytningen af hellens "bund" sker principielt på samme måde. Der er nogle forskelle i beregningsmetodikken, men på skæmbilledet vil billedet ligne det fra

flytningen af "toppen". Den eneste umiddelbare forskel er, at "bunden" ikke indflyddes af "toppen", idet placeringen af denne bibeholdes uforandret. Reelt er flytningen af "bunden" en ændring af hellenslængde langs sekundærvejens centerlinie.

## Vurdering af værktøjet

Det vurderes, at systemet giver den projekterende mange fleksible udformningsmuligheder for sekundærhellen. Hellens form vedbliver imidlertid den hidtil benyttede. Redigeringsmulighederne for bredden og længden vil sandsynligvis blive meget benyttet. Hastigheden ved den multidynamiske ændring er ganske acceptabel, idet det ikke er nødvendigt at udføre iterationer, som ved tilslutningskanten. Snapfunktionen vurderes her som ganske anvendelig, idet flytninger og ændringer principielt foregår langs eksisterende linier, som der kan "snappes" til.

## 5.4 Primærvejen

Primærvejen kan opdeles i tre geometriske dele, dvs. en breddeudvidelse, en primærhelle med svingspor og en primærhelle uden svingspor. Breddeudvidelsen vil typisk være det første skridt at foretage, når man skal have placeret et kanaliseringsanlæg. Dette angives også i vejreglerne, men i programmet forsøges de enkelte dele behandlet mere uafhængigt af hinanden, hvilket vil give en større fleksibilitet. Når dette kan gøres, skyldes det primært, at der på forhånd er valgt nogle standardværdier på en del vigtige parametre, som f.eks. køresporsbredden, dimensioneringshastigheden, symmetrisk breddeudvidelse m.fl., se også side 109.

Den væsentligste geometriske binding for primærvejen og dens enkelte anlægsdele er, at den skal følge centerlinien, som består af en "polyline". Denne fastlægges i AutoCAD som en sammenhængende editierbar, åben polygonlinie, eller en ti-tabel der, som tidligere beskrevet, indeholder alle geometriske data for en linieføring, herunder klotoider. Programmet skelner ikke imellem disse to typer, idet alle sammenhængende polygonlinier behandles som ti-tabeller. Alle former for udvidelse i bredden sker således som en flytning vinkelret på centerlinien. Af denne grund skal der først og fremmest opstilles nogle udtryk til bestemmelse af disse indrykningsværdier. Da indrykningen både for breddeudvidelsen og for primærhellerne foretages i S-formede, modsatvendte kurver, kan disse udtryk benyttes i alle sammenhænge. Dette er i princippet en begrænsning i programmet, da man ofte vælger at dele breddeudvidelsen op i tre dele med en cirkelbue, en ret linie og atter en cirkelbue, der vender modsat den første. Med denne kombination tillægger man strækningen en form for klotoidevirkning. Reelt kunne der også indlægges en rigtig vendeklotoide.

Den helt korrekte løsning ville være at anvende den matematisk korrekte figur, som for en venstresvingende ville være en bremsekurve. Den matematiske model, som opstilles for slæbekurven omkring hjørner ved vejudmundinger, er opstillet for en konstant hastighed. Denne skulle derfor suppleres med en accelerations- og decellerationsfaktor. I første omgang vælges den simple model, idet den langt hen ad vejen er tilstrækkelig. Når man hele tiden bevæger sig mellem matematik og programmering i CAD-systemet, kan man miste fornemmelsen af virkeligheden. For ovenstående situation er det helt givet, at det vil være stort set umuligt at få en kompliceret matematisk beskrevet kurve udført korrekt i marken, og derfor er disse overvejelser p.t. ikke så relevante. Man kunne til gengæld godt forestille sig, at ideen ville kunne benyttes om nogle år, når alle disse beregninger bliver mere og mere styret af edb-maskiner. At ideen imidlertid allerede kan benyttes idag skyldes at man kan ækvivalere de korrekte matematiske kurver med cirkelbuer og liniestykker, som det er muligt at beskrive på papiret og afsætte i marken. Ideen forventes fulgt op og vil sandsynligvis blive indføjet i MIK-programmet i nær fremtid.

## Beregningsmetode

Som nævnt beregnes alle linier som en styret flytning i forhold til centerlinien. De geometriske objekter, dvs. hovedsageligt cirkelbuer der udgør primærvejens konstruktion, bestemmes i vejreglerne for en primærvej med en retlinet centerlinie. For at kunne overføre disse objekter til en vilkårlig linieføring for primærvejen opdeles disse objekter i små stykker. Forstået på den måde, at der beregnes indrykningsafstande i henhold til den cirkelbue, der skulle have været etableret på en retlinet vej. Disse afstande benyttes til at finde punkter langs primærvejens centerlinie. Se figur 5.17 side 151, 151.

Således vil sideflytningen kunne resultere i en ny linie, der ikke umiddelbart vil være geometrisk identificerbar med cirkler og linier. Det tilstræbes at få opstillet en matematisk funktion, der omdanner en række punkter (egentlig vektorer) til cirkler og rette linier. F.eks. lægges en parabel igennem punkterne ved hjælp af en 2'ordens mindste kvadraters metode. Denne parabel kunne herefter igen omdannes til en cirkelbue, som det kendes fra længdeprofil-beregningen. En anden mulighed er at forsøge sig frem med tre punkter ad gangen og danne cirkelbuer igennem punkterne.

Da denne funktion kan benyttes til mange andre formål end kun den her omtalte, har ViaNova i Norge engageret en matematiker, der i samarbejde med afhandlingens forfatter har udviklet en algoritme til bestemmelse af disse cirkelbuer og linier.

Helleanlæggene konstrueres som en parallelforskydning af kørebanekanten med en størrelse som kørebanebreddens ind mod centerlinien. Med undtagelse af kilestrækningen i forbindelse med venstresvingssporet gælder dette alle hellesiderne. Kilestrækningen konstrueres særskilt, hvilket fremgår af beregningsforløbet for hele helleanlægget.

## Beregningsforløbet

I det følgende vil de forskellige udtryk, der indgår i bestemmelsen af primærvejens geometri blive præsenteret. Hvor formlerne er hentet direkte fra de danske vejregler vil et "DV" indgå i den fortløbende nummering.

Først bestemmes indrykningsfunktionerne for breddeudvidelsen.

Herefter præsenteres de størrelser, som indgår i kilestrækningen. Til sidst i dette afsnit, præsenteres en mindre matematisk undersøgelse, som illustrerer, hvorvidt det tilnærmede udtryk for indrykningen er rimelig nøjagtig i forhold til de korrekte udtryk.

#### INDRYKNING:

Et indrykningspunkt findes ved at gå afstanden  $i$  vinkelret ud fra centerlinien. Følgende situation haves:

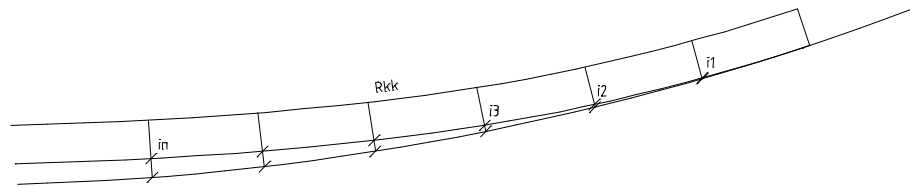


Fig. 5.17 Skridtvis indrykning i forhold til centerlinien.

Udtrykket for indrykning fra en cirkel er eksakt

$$i_n = R \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{X_n}{R} \right)^2} \right) \quad \text{for } [0 \leq X_n \leq L_{bu}/2] , \quad (48)$$



hvor  $X_n$  er afstanden fra startpunktet for indrykningen til den n'te indrykning med radius R.

For  $X_n = L_{bu}/2$  skifter situationen og indrykningshastigheden aftager som følge af, at cirkelbuen nu vender den modsatte vej.

$$i_n = 2C - R \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{X_n - L_{bu}}{R} \right)^2} \right) \quad \text{for } [L_{bu}/2 \leq X_n \leq L_{bu}] , \quad (49)$$

hvor C findes af

$$C = R \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{L_{bu}}{2R} \right)^2} \right) \quad (50)$$

Hvis "dragging"-funktionen bliver for besværlig at udføre, kan de simplificerede udtryk for indrykning, der er vist side 160, anvendes. Fejlen vil ligge, som vist i dette afsnit, omkring 2cm's afvigelse. Følgende formler kan benyttes:

$$i_n = \frac{X_n^2}{2R} \quad \text{for } [0 < X_n < L_{bu}/2] \quad (51)$$

$$i_n = 2 \cdot C - \frac{(X_n - L_{bu})^2}{2R} \quad \text{for } [L_{bu}/2 < X_n < L_{bu}], \quad (52)$$

hvor C bestemmes af:

$$C = \frac{L_{bu}^2}{2R} \quad (53)$$

#### BREDDEUDVIDElsen AF PRIMÆRVEJEN:

$L_{bu}$ , der angiver den længde, som breddeudvidelsen sker over, bestemmes ud fra  $V_d$  (den dimensionsgivende hastighed i km/h), men bør reelt kunne vælges enten kortere eller længere. Der findes retningslinier for længden  $L_{bu}$ , når der ved kurvede veje opstræder modkrumning i breddeudvidelsen. Disse retningslinier tillader afvigelser fra de opstillede udtryk. Ved at ændre denne længde multidynamisk, vil man kunne se direkte, hvornår man får den bedste løsning. Dette anbefales gjort i de tyske vejregler /RAS-K-1, 1988/, der i det hele taget er væsentligt mere fleksible end de danske. De danske vejregler anbefalede derimod at undgå modkrumning med følgende udtryk:

$$L_{bu} \geq 2\sqrt{R \cdot i} \quad DV (54)$$

Denne betingelse vil i sagens natur være vanskelig at opfylde med de ovenfor beskrevne forudsætninger for breddeudvidelsen. Da udvidelsen ofte ikke sker i en eksakt beskrevet kurve, vil denne formel ikke være relevant, da det i disse tilfælde vil være meget vanskeligt at bestemme  $R$ .

$L_{bu}$  og  $R_{kk}$  se nedenfor, bestemmes ud fra de standardparametre som fremgår af side 109:

$$L_{bu} = V_d \cdot \sqrt{\frac{i}{3}} , \text{ og} \quad DV (55)$$

$$R_{kk} = \frac{L_{bu}^2}{4i} = \frac{V_d^2}{12} , \quad DV (56)$$

hvor:

$L_{bu}$  = Længden for breddeudvidelsen,

$V_d$  = Dimensionsgivende hastighed i km/h,

$i$  = Udvidelsesbredden i enten venstre eller højre side,

$R_{kk}$  = Radius for kørebanekanten (S-kurve).

Den samlede længde for hele krydset bliver herefter beregnet, idet sekundærhellen placeres ud fra standardværdier, men ikke nødvendigvis vises på skærmen. Indrykningen vil således blive bestemt for kørebanekantens udvidelsesradius  $R_{kk}$ .

Til orientering er de typiske længder, som fremkommer ved at benytte vejreglerne, anført nedenfor. Tilhørende betegnelse fra vejreglerne ses af figur 5.18.

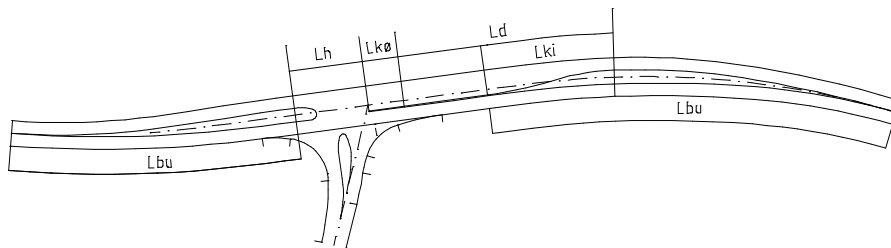


Fig. 5.18 Typiske længder ved beregning af primærheller.

Følgende situation haves som udgangspunkt:

$$L_1 = 156,6\text{m}$$

$$L_2 = 88,6\text{m}$$

De aktuelle afstande må beregnes fra skæringspunktet mellem sekundærvejens centerlinie og primærvejens centerlinie.

Fra skæringspunkt til start af primærhelle med svingbane fås afstanden:

$$L_1 = L_{bu} - L_{ki} + L_d + l_{k\phi} + L_h \quad (57)$$

$$L_1 = 156,6\text{m}$$

$L_h \approx 8,0\text{m}$  (længden er ikke bestemt nøjagtig, idet den varierer efter sekundærvejens vinkel med primærvejen)

Fra skæringspunkt til start af primærhelle uden svingspor haves:

$$L_2 = L_{bu} + L_h \quad (58)$$

$$L_2 = 88,6\text{m}$$

Med disse værdier er det nu muligt at konstruere både venstre og højre breddeudvidelse. Hvis  $i$ , der som standard sættes til 1,9m, er forskellig i højre og venstre side, bestemmes  $L_{bu}$  ifølge vejreglerne udfra den største værdi af  $i$ .  $R_{kk}$  bestemmes samtidig udfra den mindste værdi af  $i$ . Det bliver muligt i MIK-programmet at "dragge" begge sidder samtidig og adskilt fra hinanden

Sidstnævnte metode bør nok benyttes med måde, idet krydset ellers vil komme til at se mærkelig usymmetrisk ud. Dette kan også rent kørselsdynamisk give problemer for de trafikanter, der kører gennem krydset.

Den samlede længde for hele primærhellens konstruktion er ved brug af standardværdier for de indgående parametre:

$$L_{bu} + L_{ki} + L_d + L_{kø} + L_{bu} + L_{helle} = 245,2 \text{ m} , \text{ hvor} \quad (59)$$

$$L_{bu} = 79,6\text{m}$$

$$L_{ki} = 36,0\text{m}$$

$$L_d = 95,0\text{m}$$

$$L_{kø} = 10,0\text{m}$$

$$L_{helle} = 17,0\text{m}$$

Allerede ved udformingen af breddeudvidelsen er det vigtigt at kunne "dragge" de væsentligste længder. Medregnes venstresvingssporets længder, bliver disse hhv.  $L_{bu}$ ,  $L_{ki}$ ,  $L_{kø}$  og  $L_d$  (jfr. figur 5.18)

## Kilestrækningen

Kilestrækningen for primærhellen med svingspor er i princippet vanskelig at bestemme. De cirkelbuer, som danner kilestrækningen, bestemmes af formler i henhold til vejreglerne, som er delvist empiriske. Dette betyder at cirkelbuerne ikke tangerer hinanden eksakt, hvilket de principielt bør gøre. Dette har ikke nogen betydning i praksis, men foret edb-system kan dette være uheldigt, fordi hele geometrien er opbygget af geometriske størrelser, der er hængt sammen i tangentielle overgange.

Af denne grund vælges en kombination af vejreglernes udtryk og de edb tekniske metoder (f.eks. linieberegning). Ideen er at opstille en geometrisk løsning og ud fra denne beregne de eksakte tangentpunkter for den endelige

løsning. Den geometriske løsning ser ud som vist på figur 5.19.

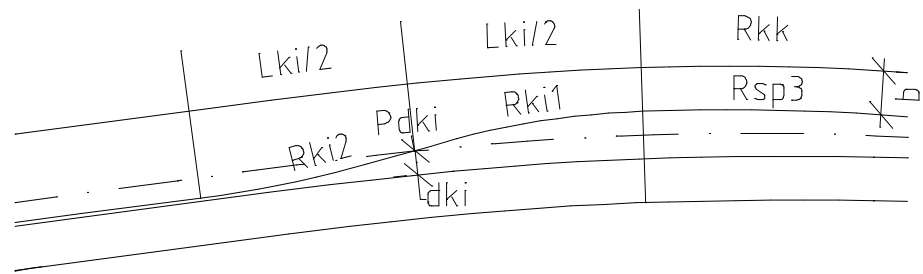


Fig. 5.19 Bestemmelse af kilestrækningens udformning.

Figur 5.19 viser højre side af primærhellen ved kilestrækningen med venstresvingsspor. Beliggenheden af  $R_{ki}$  og  $R_{sp}$  er geometrisk bestemt udfra den generelle løsning, idet:

$$R_{ki,1} \approx \frac{1}{\frac{1}{R_{sp,3}} + \frac{108}{V_d^2}} \quad DV(60)$$

$$R_{sp,3} = R_{kk} - b, \quad \text{hvor } b \text{ er køresporsbredden} \quad (61)$$

$R_{ki,1}$  og  $R_{ki,2}$  bestemmes udfra udtrykkene:

$$R_{ki,2} \approx \frac{1}{\frac{1}{R_{sp,3} \pm b} - \frac{108}{V_d^2}} \quad DV(62)$$

Der anvendes  $-b$ , når  $R_{sp,3}$  og  $R_{ki,1}$  er ensvendte, og  $+b$ , når  $R_{sp,3}$  og  $R_{ki,1}$  er modsatvendte. I det eksempel, som fremgår af figur 5.19, vælges altså  $+b$ .

Punktet  $P_{dki}$ , se figur 5.19, bestemmes udfra indrykningen givet ved længden  $L_{bu}$  -  $L_{ki}/2$  og selve størrelsen  $d_{ki}$  vinkelret fra centerlinien som findes af:

$$d_{ki} = R_{sp,3} - \sqrt{R_{sp,3} \cdot (R_{sp,3} \pm b)} \quad DV(63)$$

hvor der vælges  $+b$  eller  $-b$  efter samme regler som anført ovenfor.

## Multidynamisk funktion

Den multidynamiske virkemåde ved konstruktionen af primærhellen omfatter som nævnt hovedsageligt ændringer af de længder, der indgår i primærhellen. Se også figur 5.20. Disse længder ændres blot ved trådkorsets projektion på centerlinien, hvor punktet på centerlinien således bestemmer det nye endepunkt for længden. I princippet kan længderne have en dynamisk udbredelse til  $\pm$  sider, men det vælges kun at tillade en udbredelse i én retning.

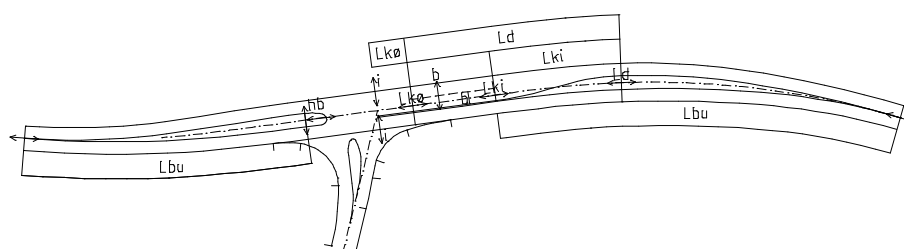


Fig. 5.20 Multidynamiske funktioner ved primærhellekonstruktionen.

Således bestemmes længden for  $L_{bu}$  fra breddeudvidelsens oprindelige startpunkt (B) ind mod selve krydset. Ønskes  $L_{bu}$  forlænget til den anden side "dragges" man først i startpunktet og gør hellekonstruktion længere, derefter "dragges" man  $L_{bu}$  tilbage igen. Der bør måske være en mulighed for at fastholde  $L_{bu}$ 's startpunkt, selvom hellekonstruktionen trækkes længere. I så fald vil længden af  $L_{bu}$  variere med hele primærhellekonstruktionen.

$L_{ko}$  ændres omkring sit udgangspunkt ved de 10 m. Ønskes  $L_{ko}$  kortere, flyttes denne længde mod selve krydsningen. Ønskes  $L_{ko}$  længere flyttes denne den modsatte vej. Længden af hele hellekonstruktionen med svingspor påvirkes af denne flytning.

$L_d$  bestemmes på helt samme måde. Da kilestrækningen indgår i  $L_d$ , vil  $L_d$  ikke kunne blive kortere end  $L_{ki}$ , hvilket heller ikke ville give mening.  $L_d$  drages fra



det sted, hvor den falder sammen med  $L_{ki}$ , se figur 5.20. I princippet kunne  $L_{kø}$  således undværes, idet  $L_q$  ville kunne overtage denne flytning, men for en ordens skyld, bør begge længder tages med, fordi størrelserne henfører til hver deres funktion i krydset, som hhv. køstrækning og decellerationsstrækning, og disse bør ikke blandes sammen.

$L_{ki}$  ændres indenfor strækningen  $L_q$ . Ændringen af længden her har således ingen indflydelse på hele hellekonstruktionens længde, men kun på selve kilestrækningen og dermed udformingen af denne. En lang kilestrækning giver meget lange og bløde buer. En meget kort strækning, hvilket vil være aktuelt i byer, giver meget korte og skarpe buer.

Udover længderne bestemmes bredden på helleanlægget og venstresvingssporet, dog med en vis indbyrdes afhængighed idet f.eks. venstresvingssporet ikke kan gøres bredere, uden at primærhellen uden svingspor ligeledes skal blive bredere og vice versa. Derfor behøves kun en ændringsmulighed for hellebredden. Bredden af venstresvingssporet bliver ligeledes bestemt dynamisk. Dog vil der altid blive reserveret plads til minimum 30cm til en dobbelt spærrelinie lang med venstresvingssporets venstre afgrænsning.

Kørebanekanternes position bestemmer sammen med bredden på helleanlægget bredden på gennemfartssporet. Vælges det således at flytte kørebanekanten yderligere 3,5m til en af siderne, og hellerne bibeholder deres oprindelige bredde, vil der være etableret to gennemfartsfor i én retning.

Trådkorsets position ækvivaleres med en bredde på enten hellerne eller kørebanekanten ved en ortogonal afstandsmåling fra centerlinien ud til trådkorset. Denne afstand sættes i forhold til størrelsen på de forskellige breddeangivelser og afstanden ud til kørebanekanten. Således vil der blive etableret en meget naturlig sammenhæng mellem trådkorsets position og den ændring, man ønsker foretaget.

Da de dynamiske ændringer hænger tæt sammen, kan det være nødvendigt at skulle foretage to ændringer, for at nå frem til det ønskede resultat. Set i lyset

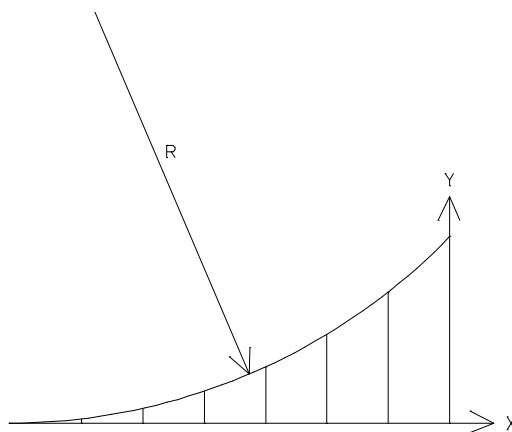
af MIK-systemets fleksibilitet i øvrigt vurderes det, at denne arbejdsgang ikke vil give anledning til besvær.

## Vurdering af værktøjet

Primærhellekonstruktionen er klart den del af krydskonstruktionen, der indeholder flest dynamiske ændringsmuligheder. Det vurderes dog, at man hurtigt vil lære at håndtere disse, idet de er placeret på steder, hvor det er ønskeligt at foretage ændringer. MIK-systemet er ved afslutningen af denne afhandling ikke færdigprogrammeret med ovenstående funktioner, og det er derfor vanskeligt at foretage en yderligere vurdering.

## KVALITATIV VURDERING AF INDRYKNINGSFUNKTIONEN:

Det følgende skal give en kvalitativ vurdering af indrykningsfunktionen, som er meget central ved bestemmelse af primærvejens konstruktion. Denne vurdering udføres ved at sammenligne den tilhørende indrykningsfunktion, som er meget udbredt indenfor vejprojekteringen og det eksakte udtryk herfor. Det eksakte udtryk er bestemt ud fra cirkelbues ligning. Se også figur 5.21.



*Fig. 5.21 Indrykning af cirkelbue med radius  $R$ .*

$$Y = \frac{X^2}{2R} \quad (\text{tilnærmet udtryk i form af en parabel}) \quad (64)$$

$$Y = R \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{X}{R} \right)^2} \right) \quad (\text{nøjagtig indrykningsformel}) \quad (65)$$

En Taylorrækkeudvikling af 2' orden på formel (61) giver:

$$Y = \frac{x^2}{2R} \quad (66)$$

En Taylorrækkeudvikling af 4' orden på formel (61) giver:

$$Y = \frac{x^2}{2R} + \frac{x^4}{8R^3} \quad (67)$$

**Eksempel:**

**R = 100**

**X = 20**

(60) giver Y = 2,00m

(61) giver Y = 2,02m

**Konklusion 2cm fejl.**

Diagrammet i figur 5.22 viser fejlmarginen ved en radius 500m, hvor indrykket foretages over 200 meter. Det ses, at holder man sig indenfor 10% af radius, er

afvigelsen ubetydelig. Bevæger man sig længere ud end 15% af radius, begynder afvigelsen at blive så betydelig, at det simple udtryk ikke bør anvendes længere.

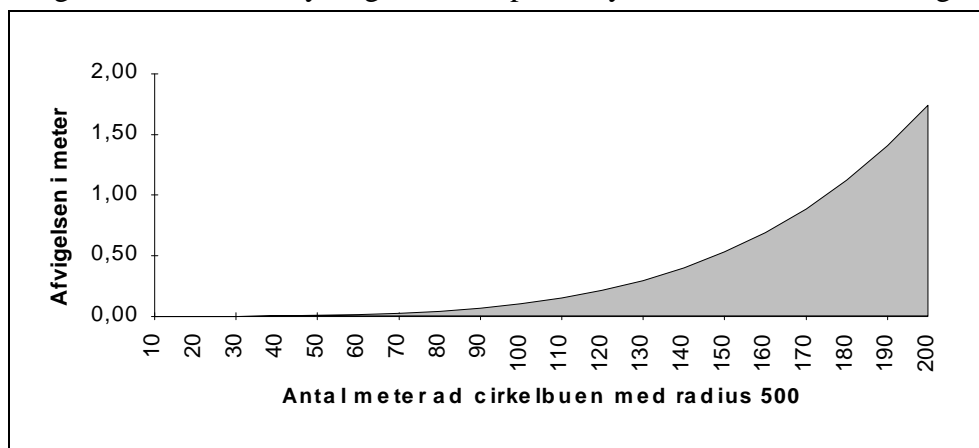


Fig. 5.22 Afvigelsen mellem den tilnærmede beregningsmetode for indrykning og den eksakte metode som funktion af længden  $X$  målt langs en cirkelbue med radius 500m.

Den første afledte for udtrykkene er ligeledes interessant, idet denne benyttes ved bestemmelsen af tangentretningen på cirkelbuen.

$$Y' = \frac{X}{R} \quad (68)$$

$$Y' = \frac{X}{R \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{X}{R}\right)^2}} \quad (69)$$

Formel (68) beskriver det tilnærmede udtryk og formel (69) det nøjagtige udtryk.

**Eksempelt fortsat:**

$$\mathbf{R = 100m}$$

$$\mathbf{X = 20m}$$

$$(64) \text{ giver } Y' = 0,200\text{m}$$

$$(65) \text{ giver } Y' = 0,204\text{m}$$

**Konklusion: afvigelse på 0,004m**

Det fremgår klart, at det ingen større betydning har for tangentretningen, om man benytter den ene eller den anden formel. Dette gælder dog kun, når man arbejder i områder, hvor  $R \gg X$ . Hvis  $X$  nærmer sig  $R$ , bliver fejlen mere og mere mærkbar. Når  $X$  går mod  $R$ , fås værdien 1 i formel (64) og  $\infty$  i formel (65).

Da edb-systemet ikke vil kunne registrere nogen større forskel på den ene eller den anden formel, vælges at benytte det nøjagtige udtryk, idet der vil optræde andre unøjagtigheder i det videre konstruktionsforløb, og der er ingen grund til bevidst at ophobe fejl.

## 5.5 Generelle funktioner

### Skæringspunkter mellem to cirkler

I det følgende præsenteres et formelsæt til beregning af skæringspunkterne mellem to cirkler.

Cirkelns ligning:

$$\left(X + \frac{D}{2}\right)^2 + \left(Y + \frac{E}{2}\right)^2 = \frac{D^2 + E^2 - 4F}{4} \quad (70)$$

Heraf følger:

$$\text{Centerpunkt} : \left(-\frac{D}{2}, -\frac{E}{2}\right) \quad (71)$$

$$\text{Radius} : r = \frac{1}{2} \sqrt{D^2 + E^2 - 4F} \quad (72)$$

Følgende sammenhænge kan herefter opstilles for cirklen med centrum i P og radius r.

$$-\frac{D}{2} = P_x \quad \Rightarrow \quad D = -2 \cdot P_x \quad (73)$$

$$-\frac{E}{2} = P_y \quad \Rightarrow \quad E = -2 \cdot P_y \quad (74)$$

$$r^2 = \frac{1}{4} (D^2 + E^2 - 4F) \quad \Rightarrow \quad F = \frac{D^2 + E^2}{4} - r^2 \quad (75)$$

For to cirkler med hhv. centrum i  $P_1$  og  $P_2$  kan følgende betingelse opstilles.

$$X^2 + Y^2 + D_1X + E_1Y + F_1 = X^2 + Y^2 + D_2X + E_2Y + F_2 \quad \Leftrightarrow$$

$$E_1Y - E_2Y = D_2X - D_1X + F_2 - F_1 \quad \Rightarrow$$

$$Y = \frac{X(D_2 - D_1) + (F_2 - F_1)}{(E_1 - E_2)} = X \frac{(D_2 - D_1)}{(E_1 - E_2)} + \frac{(F_2 - F_1)}{(E_1 - E_2)} \quad (76)$$

Til det efterfølgende vælges følgende substitutioner:

$$A = X \frac{(D_2 - D_1)}{(E_1 - E_2)} \quad \text{og} \quad B = \frac{(F_2 - F_1)}{(E_1 - E_2)} \quad (77)$$

$$X^2 + (XA + B)^2 + D_1X + E_1(XA + B) + F_1 = 0$$

$$X^2 + A^2X^2 + B^2 + 2 \cdot XAB + D_1X + E_1XA + E_1B + F_1 = 0$$

$$X^2(1 + A^2) + X(2AB + D_1 + E_1A) + (B^2 + E_1B + F_1) = 0$$

Denne kvadratiske ligning løses i henhold til X og følgende udtryk findes:

$$X = \frac{-(2AB + D_1 + E_1A) \pm \sqrt{(2AB + D_1 + E_1A)^2 - 4(1 + A^2)(B^2 + E_1B + F_1)}}{2(1 + A^2)} \quad (78)$$

## Tangentpunkt på cirkel

I det følgende bestemmes tangentpunkterne på en cirkel udfra koordinaterne af et punkt, der ligger udenfor cirklen, cirkelns centrum og cirkelns radius.

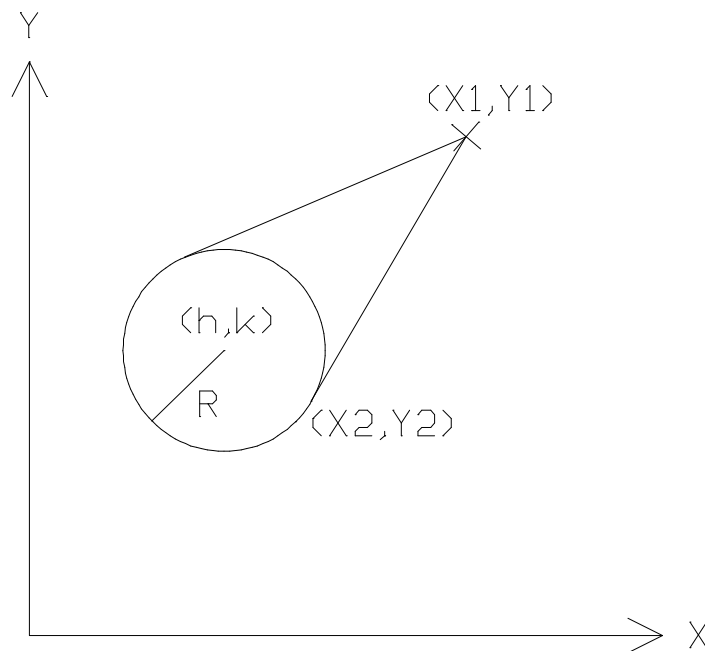


Fig. 5.23 Punkt og cirkel i relation til hinanden.

Forudsætning: Tangenthældningen i tangentpunktet på cirkelbuen skal være lige med hældningen på den linie, der går fra punktet udenfor cirkelbuen til tangentpunktet på cirkelbuen, se figur 5.23.



Dette medfører følgende betingelse:

$$-\frac{(X_1 - h)}{(Y_1 - k)} = \frac{(Y_2 - Y_1)}{(X_2 - X_1)}, \text{ hvorfølger} \quad (79)$$

$$-(X_1 - h)(X_2 - X_1) = (Y_2 - Y_1)(Y_1 - k) \quad \Leftrightarrow$$

$$-X_1X_2 + X_1^2 + hX_2 - hX_1 = Y_1Y_2 - kY_2 - Y_1^2 + kY_1 \quad \Leftrightarrow$$

$$X_1^2 + Y_1^2 - X_1(X_2 + h) - Y_1(Y_2 + k) + hX_2 + kY_2 = 0 \quad (80)$$

Formel (80) sættes lige med cirkelns ligning (81) for at finde  $X_1$  og  $Y_1$ .

$$X_1^2 + Y_1^2 + DX_1 + EY_1 + F = 0 \quad \Rightarrow \quad (81)$$

$$-X_1(X_2 + h + D) - Y_1(Y_2 + k + E) + hX_2 + kY_2 - F = 0 \quad \Leftrightarrow$$

$$Y_1 = \frac{X_1(X_2 + h + D) - hX_2 - kY_2 + F}{-(Y_2 + k + E)} \quad (82)$$

Følgende substitution benyttes til den videre beregning:

$$A = \frac{(X_2 + h + D)}{-(Y_2 + k + E)}, \quad (83)$$

$$B = \frac{-hX_2 - KY_2 + F}{-(Y_2 + K + E)} \quad (84)$$

Udtryk (82) omskrives således til:

$$Y_1 = AX_1 + B \quad (85)$$

Udtryk (81) omskrives ved hjælp af (85) til:

$$X_1^2 + (AX_1 + B)^2 + DX_1 + E(AX_1 + B) + F = 0 \quad (86)$$

Dette udtryk løses m.h.t.  $X_1$ :

$$X_1^2 + A^2X_1^2 + B^2 + 2ABX_1 + DX_1 + EAX_1 + EB + F = 0$$

$$X_1^2 (1 + A^2) + X_1 (2AB + D + EA) + B^2 + EB + F = 0$$

$$X_1 = \frac{-(2AB+D+EA) \pm \sqrt{(2AB+D+EA)^2 - 4(1+A^2)(B^2+EB+F)}}{2(1+A^2)} \quad (87)$$

Ved hjælp af (87) og (85) bestemmes endelig beliggenheden af de to tangentpunkter på cirklen.

## Den rette linies ligning

Det følgende beskriver to udtryk for liniens ligning, som ikke findes i formel samlingen umiddelbart. Disse udtryk kan direkte benyttes som algoritmer i et program.

Liniens ligning udfra to kendte punkter:

Linien går igennem punkterne  $(X_1, Y_1)$  og  $(X_2, Y_2)$ , og punktet  $(X, Y)$  ligger på linien og findes som følger:

$$\frac{Y - Y_1}{X - X_1} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = m \quad (88)$$

$$Y = m(X - X_1) + Y_1 \quad (89)$$

---

Ligningen for en parallel linie i afstanden  $d$  fra en anden linie bliver, idet:

$$d = \frac{Y - mx - b}{\pm \sqrt{m^2 + 1}}, \text{ hvoraf følger} \quad (90)$$

$$Y - mx - b = \pm d (\sqrt{m^2 + 1}) \quad \Leftrightarrow \quad (91)$$


---

$$Y = mx + b \pm d (\sqrt{m^2 + 1}) \quad (92)$$

*Fig. 5.24 Afstanden  $d$  i forhold til ligningen  $Y=mX+b$ .*



# 6

## Vurdering af MIK

---

I de tidligere kapitler har været berørt de problematiske sider af MIK, det multidynamiske intelligente krydskonstruktionsprogram, samt problematikken omkring projektering/design på edb. I det følgende vurderes MIK alene i forhold til andre designmetoder. Disse kan være de traditionelle manuelle konstruktionsmetoder, eller metoder anvendt med edb-teknologien som redskab.

Det er nødvendigt her at gå udover problemstillingen ved indførelse og anvendelse af edb. Fordele og ulemper ved edb har som nævnt allerede været beskrevet, og denne diskussion er ikke så relevant i det følgende. Det forudsættes blot, at CAD-teknologien er indført, og at viden om denne ikke blot er udbredt over hele landet, men også benyttes i stor udstrækning hos specielt vejforvaltningerne i stat og amt, men også tildels hos de store kommuner og konsulentfirmaer. Til underbygning af dette er nedenfor gengivet en liste over, hvilke af amtsvejvæsenene i Danmark, der benytter sig af CAD i vejprojek

---

tering. Listen er opstillet pr. 1. marts 1994.

	Har anskaffet CAD-udstyr	Overvejer at anskaffe CAD-udstyr
Nordjyllands amt	NovaCAD	
Århus amt	NovaCAD	
Viborg amt	NovaCAD	
Ringkøbing amt		x
Vejle amt	NovaCAD	
Sønderjyllands amt	NovaCAD	
Fyns amt	Vej-PC	
Storstrøms amt	InRoads	
Vestsjællands amt	MOSS	
Københavns amt	NovaCAD	
Ribe amt	NovaCAD	
Roskilde amt	Vej-PC	
Frederiksborg amt	InRoads	
Bornholms amt		x

*Fig. 6.1      Oversigt over CAD-anvendelsen hos de danske amtsvejvæsener primo 1994.<sup>7</sup>*

Som yderligere forklaring til oversigten i figur 6.1 skal nævnes, at NovaCAD er et norsk udviklet projekteringssystem, som baserer sig på AutoCAD, Vej-PC er et til dels dansk udviklet system, baseret på Intergraphs PC-udgave af Microstation, som ligesom AutoCAD er en generel CAD-platform. InRoads er et amerikansk udviklet vejprojekteringssystem, som er baseret på Intergraphs Microstationversion til UNIX-arbejdsstationer og er nyligt udgivet i en ny forbedret udgave til Windows NT. MOSS er et engelsk udviklet CAE-system,

<sup>7</sup> Oplysningen er givet af Leif Sønderskov hos det rådgivende ingeniørfirma Rambøll, Hannemann og Højlund i Århus.

som er specielt udviklet til vejprojektering, men som kun i mindre grad er egnet som et generelt værktøj til tegningsproduktionen.

Selvom amtsvejvæsenerne har valgt forskellige systemer ses det, at kun to af amterne ikke er i besiddelse af CAD-teknologien og stadig overvejer indførelsen af denne. Det skal dog bemærkes, at enkelte amter har haft systemer i længere tid, hvilket vil sige i 3-4 år, hvorimod andre kun lige har anskaffet et system og ikke er ude over introduktionsfasen indeholdende bl.a. kursusaktiviteter.

## 6.1 Traditionel contra dynamisk design

Den optimale designsituation må være at sidde med en blød blyant i hånden og foretage en løs skitsering af de ideer, man har til løsning af et givet problem - i denne situation udformning af et vejkrøds.

Derefter trykkes på en knap og hele tegningen ligger færdigudført med tilhørende tekst og tegningshoved. Utopi - måske, men væsentligt i den sammenhæng er det, at de fleste projekterende rent faktisk arbejder bedst med papir og blyant uden generende ydre faktorer som maskinstøj og tastaturklik. Det bør fremhæves, at havde man haft de samme muligheder med papir og blyant, som man har med edb-mediet, så ville man vælge papir og blyant. Denne erkendelse har i øvrigt ført til den massive fremgang af de såkaldte "Notepads", hvor man skriver og udpeger direkte på den lille skærm. Men papir og blyant har ikke de elektroniske hjælpemidler til rådighed, som et CAD-system har fordel af. En ændring af tegningen, f.eks. en optegnet cirkelbue, medfører brugen af et viskelæder. At denne proces er mere kreativ og intuitiv og ikke omfattet af et utal af begrænsninger, er en anden side af sagen. Kravene til kreativitet og intuition er meget centrale her, idet det multidynamiske programsystem forsøger



at fastholde disse principper og egenskaber. Samtidig er der opstillet et sæt af begrænsninger, som skal forhindre brugeren i at gøre noget meget tåbeligt og hjælpe systemet med at kunne forholde sig til de parameterværdier, som brugeren vælger, hvad enten de ligger som standardværdier i systemet eller bliver forandret dynamisk. Disse begrænsninger er tildels uundgåelige, selvom der i MIK er gjort meget for at reducere deres omfang. Begrænsningerne er lagt ind i systemet af forskellige årsager, som blev omtalt i programdokumentationen i kapitel 5.

Som en sidebemærkning kan nævnes, at man selv på designskolerne ikke kan blive enig om, hvorvidt det er nødvendigt at anvende blyanten under skitserings- og designfasen<sup>8</sup>, idet nogle professionelle industridesignere kun benytter edb-teknologien hertil og helt har forladt brugen af blyanten. Argumentationen herfor gives ved, at design på edb byder på mulighed for at afprøve forskellige skitsemodeller på en mere effektiv måde. Herunder muligheden for beregning af holdbare dimensioner, visualiseringseffekter samt simuleringsmuligheder.

Forfatterens klare holdning er hertil, at edb som tegneværktøj vil udvikle sig til et lige så nemt og forståeligt redskab som en blød blyant. Især for nye generationer vil det være en selvfølge at tegne på en skærm i stedet for på papiret. Det er muligt der vil gå 10 år eller længere, men på et eller andet tidspunkt vil det forholde sig således. Edb-værktøjet lider i dag stadig under den vanskelig tilgængelige "håndtering", jf. også afsnit 3.1 - hammeren som værktøj.

## 6.2 3D-håndtering

---

<sup>8</sup> Tech World, Nr.1, 16. februar 1994, 7. årgang, side 21. Designere kan heller ikke blive enige om blyant eller edb. Af Andrea Balogh.

---

Den manglende håndtering af den tredje dimension, dvs. af højder og koteformhold, er måske det væsentligste kritikpunkt ved MIK-systemet.

Det bør imidlertid understreges, at den tredje dimension ikke er undladt for at simplificere krydsprogrammet, men fordi programmet indgår i en større helhed, hvor den tredje dimension håndteres særskilt med egne programmer.

Der eksisterer allerede i dag programmer for geometrisk vejprojektering, som kontinuerligt og uden problemer håndterer koterne, men disse programmer er bygget op ved hjælp af en såkaldt streng-filosofi. F.eks. arbejder systemet MOSS udelukkende i tre dimensioner. Alle elementer, som tegnes i MOSS, skal defineres som en tre-dimensional streng med angivelse af, hvad der er en kørebanekant, en vejmidte osv. Umiddelbart lyder ideen tillokkende, fordi man fra starten får styr på alle elementerne i konstruktionen, men reelt er et sådant system meget tungt at arbejde med, idet man i én uendelighed skal svare på banale spørgsmål, inden man får noget ud på skærmen.

I NovaCAD arbejder man derimod i to dimensioner. Systemet kan således betegnes som et 3 x 2D system, idet systemet danner en tre-dimensional model ved at samle linieføringen (plangeometrien), længdeprofilet og tværsnittet til en helhed. Tilsammen danner disse tre elementer en rumlig model, men de projekteres hver for sig. Det er dog givet, at en sådan arbejds metode stiller krav til, at den færdige model kontrolleres visuelt. Specielt er traceringskravene svære at opfylde i et 3 x 2D-system, hvis ikke de kontrolleres særskilt og løbende.

### **3D contra 2D**

Ulempen ved at arbejde med 3D-CAD er kompleksiteten. Det er temmelig vanskeligt at håndtere et vejprojekt i 3D på en flad skærm. Selvom man vil kunne se rumlige modeller i perspektiv, så er 3D-håndteringen vanskelig at styre under projekteringen. Muligvis vil kommende generationer udvikle bedre evner

til at fornemme rumlige tegninger, da de fra barnsben stifter bekendtskab med avancerede computerspil. Det er derfor muligt, at man på sigt bør udvikle systemerne til egentlige 3D-systemer. Men det kan være svært at udvikle fornemmelser for 3D-projektering på en skærm. At arbejde i 2D gør selvfølgelig hele arbejdsprocessen noget mere langstrakt og mindre sammenhængende, men til gengæld bliver den enkelte tegningsproces meget lig det gammelkendte system med linieføring, længdeprofil og tværprofil, dvs. meget lettere at overskue. MIK-systemet arbejder netop ud fra princippet om "holistisk skelnen og association" og dette forudsætter, at man kan genkende tegninger i 2D. Dette forhold understreger en række fordele ved at kunne arbejde i 2D, som en 3D-håndtering fra start til slut vil have svært ved at tilbyde. Dette hænger lidt sammen med filosofien omkring opdeling af arbejdsprocessen i små bidder. Dette gælder også for MIK-programmet, der består af en værktøjskasse til håndtering af de enkelte dele i krydset. Krydset, eller hele vejprojektet, bliver lidt nemmere at overskue og styre gennem denne opdeling. Det skyldes primært, at det er den traditionelle måde at arbejde på. Ligesom man bruger dobbelt retvinklet afbildning på konstruktionstegninger, benytter man lignende afbildningsformer i vejbygning, dog med en anden målestok og opstillet på en anden måde - jfr. de tre elementer linieføring, længdeprofil og tværprofil - men principielt udfra det samme grundprincip. Indenfor maskinproduktion eller almen industridesign har man i mange år, specielt hos mindre virksomheder været tilbageholdende med at indføre CAD med 3D-faciliteter. Dette skyldes, at man tvivlede på at få tilstrækkelig nytte af den ekstra gevinst, som en CAD-konstruktion i 3D fra start til slut giver. Tidsforbruget ved at tegne i 3D kunne simpelthen ikke stå mål med gevinsten i sidste ende. Sideløbende med et øget færdighedsniveau ved brug af edb-maskinerne og CAD-systemerne tegner der sig et nyt billede, hvor 3D-tegninger mere og mere finder anvendelse selv i mindre industrivirksomheder.

Nye systemer benytter bl.a. parametrisk konstruktion - i afsnit 3.5 beskrevet som den multistatiske designmetode - med videnbaserede ingeniørsystemer. Disse nye systemer er væsentligt mere brugervenlige og giver så mange fordele, at flere og flere virksomheder også af denne grund vælger at gå over til direkte 3D-konstruktioner i CAD-systemet. Den ekstragevinst, der her er tale om

ligger i tidsbesparelser og fleksibilitet i de ingeniørmæssige beregninger fremmet af optimeringsprocesser i forbindelse med styrkeberegninger m.m. Yderligere vil en 3D-model i mange produktionsmæssige sammenhænge kunne skabes direkte ved brug af en numerisk fræser eller tilsvarende mikroelektronisk styret produktionsudstyr. Vi er her inde i det område, man kalder CAD/CAM. En tilsvarende ekstragevinst i vejbygningsmæssig sammenhæng er lidt sværere at få øje på, idet de ingeniørmæssige beregninger her gerne skulle ligge klar forud for krydsdimensioneringen. Kapacitetsberegninger foretages sjældent efter, at projektet er tegnet. Normalt ligger der et ønske om, at krydset skal kunne klare bestemte kapaciteter, hvorefter man vælger bredde på køresporene, antal kørespor, udformning (specielt længde) for svingspor, evt. anlæggelse af højresvingsspor osv. Selvom en efterfølgende kapacitetsberegning var nødvendig, ville en tredje dimension ikke spille nogen rolle, idet alle disse beregninger normalt kun er afhængig af udformningen i det vandrette plan. Det er reelt kun afvandingsforholdene og masseberegningen, som ville berettige 3D-design fra start til slut.

Masseberegningerne kan ved vanskelige jordbundsforhold få nogen betydning for den geometriske udformning. Normalt vil jordarbejdets omfang indenfor rimelighedens grænser kunne bestemmes på mere traditionel vis ved separat at beregne masserne for de enkelte implicerede veje.

Afvandingsforholdene er et langt mere kritisk problem, som kræver en større opmærksomhed. 3D-systemerne kan ud fra de valgte normalt tværsnit på de tilstødende veje udnyttes til at beregne afvandingsforhold i krydsene og vis detaljerede højdekurver (f.eks. 2 cm kurver) for disse. Dette taler absolut til fordel for 3D-systemerne. Især i Danmark er der behov for, at kryds etableres i forbindelse med sortplet-arbejder omkring eksisterende knudepunkter. Krydset skal her placeres på en eksisterende vejbelægning. Samtidig med at krydset skal koste mindst muligt, vælger man normalt at udnytte den eksisterende belægning mest muligt, hvilket kan indebære besværlige afvandingsforhold - for at sige det mildt. På baggrund af erfaringer fra vejprojekteringen i amtsvejvæsenet i Nordjylland, er der kun undtagelsesvist ressourcer til at etablere korrekte/optimale afvandingsforhold. Denne problemstilling kræver derfor et system,

som er så fleksibelt, at det kan tilpasse sig disse forudsætninger. De fleste projekteringssystemer kan i dag knap nok tage højde for en eksisterende vej (i mængdeberegningen) på en simpel retliniet strækning, hvorfor de slet ikke ville kunne gøre dette i et kryds.

MIK krydssystemet er som tidligere nævnt baseret på et eksisterende vejprojekteringssystem, nemlig NovaCAD. I dette system bestemmes afvandingsforholdene generelt udfra normaltversnittet, men systemet har en yderligere funktion, der muliggør, at kørebanekantens geometriske forløb kan vælges individuelt dvs. fastlægges ved valg af en separat linieføring og længdeprofil herfor. Med denne mulighed kan man på det nærmeste eksakt regulere afvandingsforholdene omkring krydset. Selvom dette lyder simpelt, er det faktisk ikke så enkelt. Af denne grund har ViaNova igangsat en programudvikling, der skal afhjælpe dette, blandt andet ved at give programsystemet mulighed for at bestemme en triangulering for krydsets overflade for derigennem at muliggøre udtegnning af højdekurver.

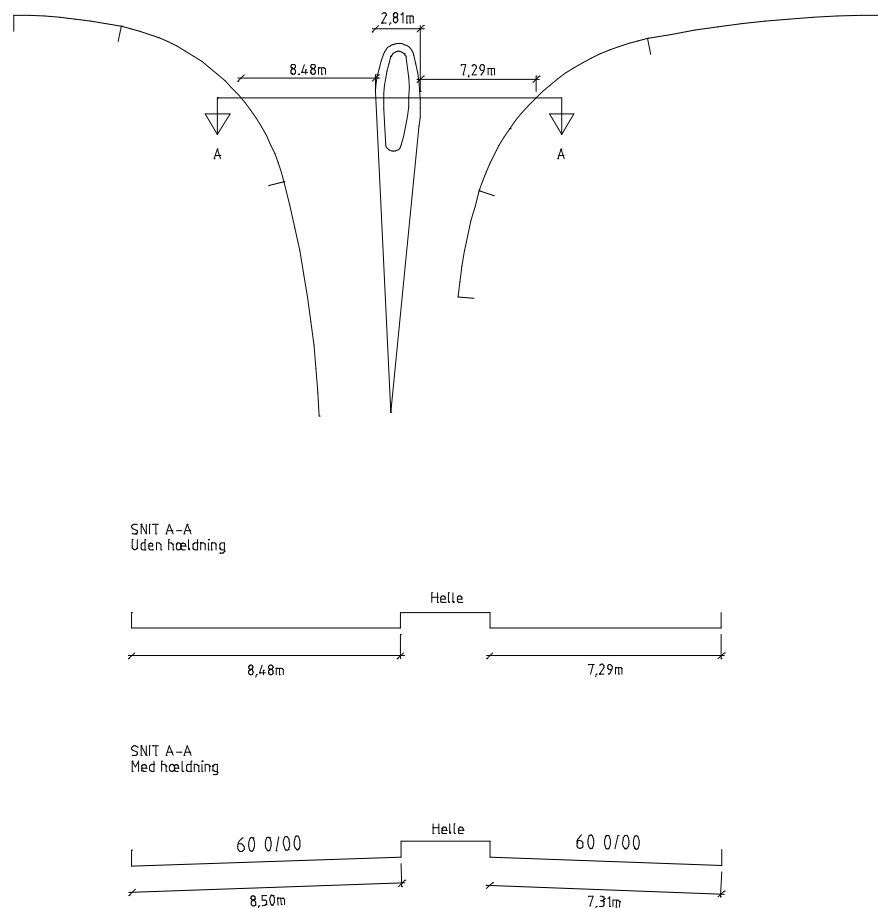
Ved visualiseringen af projekter forekommer en direkte 3D-konstruktion at være en stor fordel, idet hele modellen ligger mere eller mindre klar herfor. Men denne mulighed kan også opnås uden at konstruere 3D fra start til slut. I øvrigt har 3D-systemer yderligere et problem, og det er arbejdsfordelingen mellem ingeniør og teknisk tegner. Anvender man et 3D-system, er det næsten udelukket, at en tegner kan benytte dette system, idet det kræver meget ingeniørviden allerede fra de aller første streger. Disse værktøjer kaldes da også for CAE-systemer (Computer Aided Engineering), netop fordi de ikke er egentlige tegningsværktøjer, men konstruktionssystemer beregnet for ingeniører.

## **Det skrå plan**

Der optræder reelt et ingeniørmæssigt problem ved at konstruere kryds i planen og ikke tage højde for den tredje dimension. Denne illustreres ved et lille

eksempel.

I figur 6.2 ses en sekundærhelle og dets tilsvarende tværsnit.



*Fig. 6.2 Skitse af det skrå plan ved sekundærhellen. Der forudsættes en længdegradient på 0 ‰ for primærvejen.*

Snittet er tegnet for den plane situation, dvs. svarende tillængdegradienten =  $0\text{‰}$  (uden hældning), og for den reelle situation med en længdegradient på  $60\text{‰}$  (med hældning). Som fremgår af figur 6.2 forudsættes en længdegradient på  $0\text{‰}$  for primærvejen. Problemet ligger i, at man projekterer i den vandrette

projektion kendt fra længdeprofilet, mens den reelle bredde i marken er lidt større. Af figuren fremgår at den ekstreme længdegradient på 60‰ ved en længde af f.eks. 7,29m (højre side) giver en fejl på 2 cm, idet den reelle længde er 7.31m. Denne øgning må absolut regnes for at ligge indenfor tolerancen, da alene det digitale kortmateriale ikke kan fremskaffes med større nøjagtighed. Beregningen kompliceres yderligere, hvis længdegradienten på primærvejen er stor, men afvigelserne vil ikke forøges væsentligt af denne grund. I øvrigt anbefales, at det resulterende tværfald holdes i intervallet 25 - 60‰/Thagesen, 1984 og Fysiske, 1978/. Da helesystemet er baseret på en 3 x 2D projektering, vil dette heller ikke medføre fejl i forhold til CAD-systemet. Som det tidligere har været omtalt, anvender CAD-systemer koordinater med mange decimaler (mellem 6 og 15), men kun i planet. Systemer, der håndterer 3D-modeller med rummelige strenge, vil selvfølgelig få problemer ved at benytte de almindelige beregningsmetoder, som i vejreglerne er udarbejdet for det vandrette plan. En tilslutningskant vil eksempelvis simpelthen ikke kunne røre kørebaneanterne på henholdsvis primærvejen og sekundervejen, idet systemet ville være tvunget til at tage højde for den reducerede bredde, som fremkommer ved en projektion ned på det vandrette plan. Således er der fordele og ulemper ved at benytte 3D-systemer. Ved udviklingen af et fremtidssikret system kan det selvfølgelig lyde underligt, at der ikke vælges et 3D-system, fordi alt tyder på, at systemerne i større og større grad bliver tre-dimensionelle. Hertil er blot at sige, at det multidynamiske konstruktionsprincip vil gøre sig gældende, hvad enten det tegnes i 2D eller i 3D. Der skal dog ikke herske tvivl om, at et multidynamisk brugergrænsesnit i 3D er ekstremt kompliceret og vil blive en stor udfordring for systemudviklingen, når tiden er inde.

## 6.3 Funktionskravende og de danske Vejregler

Vejreglerne giver bud på, hvordan et vejkryds bør udformes. Dette er søgt fastholdt i MIK-programmet. I systemet her vil man også kunne konstruere en løsning, som ligger helt i yderkanten af, ja måske overskrider, hvad der er tilrådeligt. Selvom ingeniøren har et værktøj, endda et "intelligent" værktøj til rådighed, er det til syvende og sidst den projekterende ingeniør, som skal stå til ansvar for projektet og ikke programmøren. En generel klausul fra systemudvikler og leverandør indeholder faktisk, at denne frasiger sig ethvert ansvar for fejl i programmet og omkostninger forbundet hermed. Dette er der egentlig ikke så mange, der tænker over. I forbindelse med et tekstbehandlingsprogram har det næppe den store betydning, men på en konstruktionstegning kan selv en lille fejl være katastrofal. Derfor må det fastholdes, at det er ingeniørens pligt at sørge for selv at kontrollere alle tegningens detaljer. Hvis ikke dette var tilfældet, ville vi være tvunget til at opgive det multidynamiske princip, idet dette netop i høj grad lægger op til individueltankegang ved den geometriske design af krydsets enkelte dele.

Ingeniøren skal altid tage stilling til de gundlæggende funktionskrav til krydset. Disse funktionskrav beskriver krydsets funktion, hvad angår fremkommelighed for forskellige køretøjstyper ved forskellige hastigheder og med hensyn til konfliktsituationer forårsaget af, at to veje krydser hinanden. Andre funktionskrav, der skal tages stilling til, specielt under såvel designfasen, er de vikarierende funktionskrav - eller afledte funktionskrav, der beskriver tekniske størrelser såsom forholdet imellem radierne ved tilslutningskanten, størrelser på heller vejbredder osv. Programsystemet vil i stort omfang styre efter de vikarierende funktionskrav, idet disse udgør grundparametrene for at kunne foretage en egentlig beregning og udtegning. Moderne systemer (iht. datoen i forordet) har valgt at fokusere meget på disse krav, som reelt er krydskonstruktionens designparametre. Som tidligere nævnt indgår disse typisk i nogle skærmmenuer, som tildels kræves udfyldt, inden man kan få programmet til at udtegne noget. Ved at bestemme designparametrene korrekt vil systemet langt hen ad vejen udforme et kryds, der opfylder de bagvedliggende funktionskrav. Ingeniøren kan forudsætte, at systemet er "fejlrit", altså være nogenlunde sikker på, at tegningen, der fremkommer, er i overensstemmelse med den manuelt konstruerede tegning efter analoge anvisninger.



Tilbage står dog et meget væsentligt problem. Vejreglerne garanterer ikke på nogen måde, at den fremkomne tegning opfylder de egentlige funktionskrav. Man har gjort sig umage med i vejreglerne at lave en god konstruktionsvejledning, der simplificerer nogle geometriske forhold. Dette gælder eksempelvis slæbekurverne ved sekundærhellen, der udfra en kompliceret matematisk kurve, (se programdokumentationen) bliver reduceret til en cirkelbue (angivet i høj meter), hvilket er meget praktisk, fordi et sæt kantsten i en afrunding ikke vil kunne opstilles på mange andre måder end en cirkelbue, hvis det skal se ordentligt ud. Yderligere kan denne slæbekurve kun benyttes i enderne til at beskrive start og slutpunkt på kurven, der anvendes til f.eks. højre kantbegrænsning i sekundærhellen og venstre kantbegrænsning i primærhellen uden svingspor. De store ulemper optræder, når man benytter sig af arealbehovskurverne, som følger med vejreglerne til kontrol af køretøjernes arealbehov, når de drejer. Arealbehovskurverne giver meget ofte anledning til justering af forskellige geometriske størrelser. F.eks. viser det sig i mange tilfælde, at primærhellen næsten altid stikker "snuden" lidt for langt frem, så et køretøj ikke kan komme ordentligt rundt ved en venstreindsvingning fra sekundærvejen.

Denne situation er ganske almindelig og optræder i stort set alle kryds. Man må så spørge sig selv om ikke programsystemer, der viser en færdig krydsudformning, særskilt bør opfordre til at undersøge, hvorvidt funktionskravene er opfyldte. Selvom det principielt bør forventes, at ingeniøren checker sin konstruktion på alle leder og kanter, kan man frygte en tendens til at sidstnævnte situation vil forsvinde hen ad vejen, i takt med indførelse af mere og mere avancerede CAD-systemer. Men denne udvikling er næppe ønskelig.

Hvad angår MIK-programsystemet vil det også her være et krav at underkaste den tegnede konstruktion en nøje undersøgelse i henhold til givne funktionskrav. Også her ligger der en fare i at tegne et helt kryds på én gang, idet den projekterende kan blive overvældet af den korrekte udformning og helt glemme, eller blot ikke fornemme, behovet for kontrol af funktionskrav. I det multidynamiske system, hvor konstruktionsdelen forandres interaktivt, vil en ingeniør på en helt anden måde føle behovet for en kontrol, idet han/hun pludselig ændrer helt vitale dele i et kryds og ikke vil være i tvivl om, ved et kig på tegningen, at

her kan det dimensionsgivende køretøj ikke komme rundt, eller dets passage er blevet alt for snæver. Når man giver denne frihed til ingeniøren, så vil den også kunne se, at systemet ikke er altvidende, men overlader den korrekte udformning til ingeniørens kreative evner. Der er dog visse forbehold her, jfr. beskrivelsen af systemets indbyggede begrænsninger i kapitel 5.

I praktisk brug af systemet vil der sandsynligvis kunneske det, at projekteringen af et kryds bliver overladt til den tekniske assistent, som med et krydsprojekteringssystem får et værktøj i hånden til at konstruere et komplet kryds, uden stort set at vide, hvad der indgår af funktionskrav til udformningen. I så fald er kun tilbage at håbe, at den ansvarlige ingeniør fastholder et princip om at kontrollere krydsets geometri i alle detaljer, inden tegningen sendes videre til udførelse.



# 7

## Fremtiden

---

Dette kapitel vil give et bud på, hvorledes edb-udviklingen vil kunne forme sig i fremtiden. Der ses her på generelle tendenser indenfor udvikling af hardware og software, på fremtiden for MIK og på fremtiden for designfilosofien i dette program. Kapitlet rundes af med et bud på MIK's videre udvikling, idet systemet kræver en del mere udviklingsarbejde, før det kan kaldes et egentligt intelligent system.

## 7.1 Edb-teknologien

Når man udvikler systemer indenfor EDB, er det med en viden om den store risiko for, at systemet allerede kan være forældet, inden det kommer på gaden. Mange taler i dag om, hvor hurtigt uddannelsen forældes. Den egentlige forskning, herunder grundforskningen, er dog også afhængig af andre forhold end edb. Pythagoras' og Newton's teorier benyttes stadig - og selvom megen ny viden produceres, så sker dette ikke med eksplosionsagtig tempo, men skridt for skridt.

I forbindelse med systemudviklingen er situationen en lidt anden, fordi nye systemer ser dagens lys hurtigere, end systemudviklingen kan følge med. Oftest er det blot en videreudvikling af eksisterende systemer eller hardware, der er blevet 25% hurtigere, altså gennemgående noget der kan overskues. Engang imellem sker der dog et revolutionerende gennembrud, hvor en ny teknologi tages i anvendelse, selvom den reelt kræver flere års modning, inden den er fuldt brugbar i praksis.

Prisudviklingen på hardware medfører krav til softwaren og omvendt. Tingene hænger tæt sammen og udviklingen sker i en vekselvirkning mellem hardware og software. Alligevel tegner der sig et billede, idet man på software-siden ikke kan få maskiner, der er kraftige nok. Det skyldes, at stort set al brug flyttes fra alfanumerisk tekstinformation til billedbehandling, som stiller meget store krav til en maskines kapacitet og hurtighed. Det seneste eksempel, der understreger dette problem, er den nye udgave af teksbehandlingsprogrammet WordPerfect, som er kommet i en version 6.0 til Windows (januar 1994). Programmet er blevet så stort, at det kræver en af de kraftigste PC'er, der er på markedet til at kunne køre programmet nogenlunde tilfredsstillende. Dette svarer til en maskintype, som for mindre end et år tilbage blev annonceret som CAD arbejdsstation og server i et edb-netværk. Selvom WordPerfect Corporation her har skudt over målet, så går tendensen i denne retning.

Firmaet Intergraph har på det seneste måttet sande, at deres hardware var alt for dyr og for langsom, og Intergraph vil derfor i fremtiden ikke videreudvikle deres egenudviklede hardwareplatform, men vil i stedet alene satse på Windows NT maskiner.

IBM's fremtid har været omtalt i afsnit 3.1, hvor deres videnbaserede "engineering system" blev beskrevet. IBM's bud på fremtidige CAD-systemer er regelbaserede og parametriske og dermed multistatisk i sin designmetode ifølge afhandlingens definitioner, som fremgår af afsnit 2.5. Som nævnt før er dette det første skridt til et virkeligt godt editeringsværktøj.

Udviklingen indenfor edb er underlagt modestrømninger, der svarer til dem man kan iagttage indenfor tøj- og modebranchen. En systemleverandør finder på en smart ide og får succes med den, og andre følger straks efter. Andre igen mener, det er et flop og kan derigennem tage fejl af markedet og miste al deres investering og alle deres reserver, eller de kan være heldige at have satset i en anden retning og derigennem komme et langt stykke foran konkurrenterne.

I nogle tilfælde er et programsystem blot "heldig" at komme ind på et stort marked og bide sig fast der, selvom andre maskiner eller programmer reelt er bedre og mere brugervenlige. Således er Intelprocessoren med DOS-styresystemet blevet specielt udbredt i Europa, i stedet for Apple's Macintosh-maskiner, fordi prisen, kompatibiliteten og programindholdet var mere acceptabelt for køberne. Men der skal ikke herske tvivl om, at styresystem og brugerinterfacet i DOS-maskiner er væsentligt ringere end på en Macintosh-maskine. Det forhold understreges også i kraft af, at man har lagt en programskal ovenpå DOS, der hedder Windows og som i funktionalitet ligner System 7 fra Apple, men langt fra kan hamle op med dette. Et andet godt eksempel er det før omtalte tekstbehandlingsprogram WordPerfect. På en eller anden måde har det

---

<sup>9</sup>Windows NT (New Technology) er en form for storebror til Windows for DOS-operativsystemet, og vil sandsynligvis blive det mest udbredte operativsystem i fremtiden. Det bliver udviklet til alle store processorer, herunder Intel, Motorola og Alpha.

---

program vundet indpas i snart alle europæiske kontorer, selvom programmene altid taber testen i samling med f.eks. programmet Word, som kan mere og er enklere at gå til. Problematikken hænger selvfølgelig sammen med, at når først man har valgt et program, så lærer man det på godt og ondt (læs: bruger oceaner af tid på det), og man kunne ikke drømme om at skifte til et andet program - bare for at prøve. Den systemleverandør der er bedst og hurtigst til at markedsføre, har således en god chance for at blive på markedet og endda udbygge sin stilling som markedsfører. Modviljen hos køber/bruger mod at skifte fra et program til et andet, der dækker samme behov, men som kort sagt er bedre, er så stor, så man i princippet kan tale om en tendens til monopolisering. Systemudviklere forsøger at styrke denne tendens ved at vælge specielle tekstformater m.m., der på det nærmeste umuliggør skift til andet program fordi konvertering kun vanskeligt er muligt. På dette område er der dog på det seneste sket et opbrud, idet snart alle større systemer kan udveksle med alle andre. I markedsføringen benyttes denne facilitet dog til, at man får mulighed for at skifte over til netop den reklamerende systemleverandørs programudbud.

## 7.2 Fremtiden for CAD

Som tidligere nævnt er det langt billigere at udvikle parametriske programmer i forhold til reelle editingsværktøjer, der er multidynamiske i stedet for multistatiske. Dette skyldes, at model- og teoriudviklingen samt den egentlige programmeringstid er væsentligt længere for de multidynamiske systemer. Det er imidlertid beklageligt, hvis det er brugeren af systemet, der skal bidrage med den kostbare arbejdstid, ligesom man har set det så mange gange før. Brugeren har forventninger om at få en tidsbesparelse ved at indføre edb, men bruger i stedet tiden til at få edb-systemet til at virke. Med øget rutine i brugen af systemet kommer besparelserne selvfølgelig. En ådgivende ingeniørvirksomhed (Birch & Krogboe) gennemførte for en del år tilbage en intern undersøgelse, der viste, hvorledes deres edb-investeringer forrentede sig, idet de præsenterede

udgiften til edb-investeringerne i forhold til produktionen, sammenlignet med en manuel produktion over en 10-års periode. Diagrammet, der illustrerer denne undersøgelse, er vist i figur 7.1. Diagrammet er opstillet efter hukommelsen<sup>10</sup>, og de absolutte talangivelser skal derfor tages med et stort forbehold.

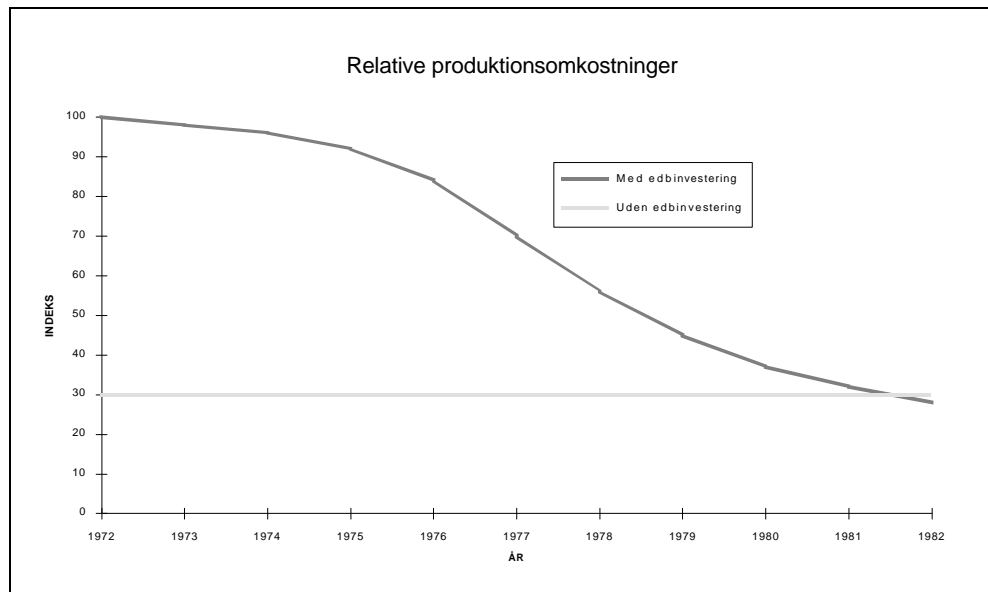


Fig.7.1 Undersøgelsens omtrentlige udseende

Det ses, at det reelt tog mange år, inden den øgede produktivitet reelt gav gevinst. I produktiviteten indgik omkostningerne for edb-udstyr, programkøb, undervisning, ansættelse af specielt uddannet edb-personale m.m. Der vil gå måske yderligere 15 år, inden mankoen fra de første 10 år vil være tjent ind igen. Den 10 års periode, der her er tale om, har ligget fra først i 70'erne til først i 80'erne. Det skal understreges, at situationen i dag er en helt anden.

Først og fremmest er hardwaren nu væsentligt billigere og enklere, programmerne væsentligt mere brugervenlige og billige, de ansatte væsentligt mere edb

<sup>10</sup> Det har desværre ikke været muligt at opspore den efterhånden gamle undersøgelse, som blev præsenteret under en forelæsning ved civilingeniørstudiet på Aalborg Universitet i begyndelsen af 1980'erne, og derfor gengives den udfra erindring.



mindede og dermed behøves mindre undervisning. Alt andet lige vil indførelsen gå mere smertefrit i 1990'erne end den gjorde omkring 1980.

Da dette kapitel hedder "fremtiden", vil der i det følgende på ganske få linier blive beskrevet en fremtid for en ingeniør eller assistent indenfor CAD verdenen. Fremtiden ligger sandsynligvis 10-20 år frem i tiden. Situationen kan se ud som følger:

Skærm og tastatur er i princippet fjernet fra bordet og erstattet af en stor skærm svarende til et A2-ark papir, der er sænket ned i bordpladen som et slag skriveunderlag. Tastaturet er erstattet af en pen, som man kan skrive med på papir og på skærmen. På sin vis er vi vendt tilbage til det traditionelle tegnebord. Selve tegnearbejdet foregår ved, at man ligesom før i tiden starter med en skitsering. Skitseringen foregår blot ikke på papiret, men på skærmen. I stedet for at starte på ny efter skitseringen, lader man systemet tolke skitsen. Først i sammenhængende objekter, f.eks. en sekundærhøle, og dernæst i enkelte objekter, f. eks. en cirkelbue. Systemet forsøger med brugerens hjælp dynamisk at få tingene sat på plads og give dem de rigtige dimensioner. Det væsentlige er her, at den kreative energi benyttes til at tegne og skitsere. Man koncentrerer sig ene og alene om det væsentlige uden forstyrrende elementer som en stor klodset skærm og et vanskeligt håndterbart tastatur i kombination med mus eller digitizer. Også i fremtiden ønsker vi altså at arbejde visuelt. Af systemet kræves en meget omfattende database til genkendelse af objekter, men et sådant system kan opbygges gradvist. Formålet er her ikke at etablere en egentlig kunstig intelligens, men at opbygge en kumulativ viden, som er blevet samlet indenfor et snævert anvendelsesområde, som eksempelvis geometrisk vejprojektering.

## 7.3 Fremtiden for MIK

Det Multidynamiske Intelligente Krydskonstruktionsprogram (MIK), vil efter forfatterens opfattelse af EDB-systemudviklingens nuværende situation være bæredygtigt 5-10 år ud i fremtiden. Denne opfattelse kan begrundes ud fra udtalelser fra hhv. IBM og Intergraph, hvor sidstnævnte på vejområdet, i kraft af det amerikanske marked, er verdens største CAD-leverandør af arbejdsstationer.

Under et seminar i Odense 4. nov. 1993 præsenterede den europæiske koordinator for Intergraph, Chris Collins, Intergraph's fremtidige planer på vejområdet. Her beskrev han under overskriften "Design Modelling" emnet "Interactiv editing" med underpunkterne:

- » parametric junction design,
- » "intelligent" editing tools

Sidstnævnte beskrev han ikke yderligere i detaljer, men henviste til de videnbaserede systemer, som kommer på markedet i disse år. Her kommer det multidynamiske system ind i billedet, idet dette er et reelt intelligent editeringsværktøj. "Parametric junction design" kan betegnes som et multistatisk system. Det er et midlertidigt system, som man kan benytte, indtil der er opsamlet tilstrækkelig viden til at næste skridt kan tages i retning af de mere interaktive, visuelle systemer.

MIK-systemet er ikke udviklet med henblik på egentlig salg, men fordi der opstod et behov. Dette behov blev analyseret, og MIK begyndte at tage form. Den videre programudviklingen foretages som nævnt i programdokumentationen hos ViaNova i Oslo, hvorman også arbejder med lignende multidynamiske systemer. Disse er dog ikke multidynamiske i så udpræget grad som MIK. Firmaet ViaNova satser bevidst på den multidynamiske designfilosofi, selvom udviklingsomkostningerne specielt i startfasen har været meget store. Dog har firmaet en fast tro på, at filosofien er den rigtige<sup>11</sup>, og hvad der er ligeså vigtigt

---

<sup>11</sup>Dette udsagn fremgår af en firmaintern rapport okt. 1993, som ikke må offentliggøres.

---

for denne designfilosofis videre udvikling er, at den er salgbar og kan vise sig at være stærkt konkurrencedygtig mange år ud i fremtiden.

## Udviklingen

Selvom det har været tilstræbt at kunne præsentere et krydsprojekteringssystem i NovaCAD samtidig med færdiggørelsen af denne afhandling, er dette kun tildels lykkedes. Den teoretiske modeludvikling er færdig, såvidt det har kunnet lade sig gøre, men mange aspekter af denne model dukker først op under programmeringen. Da denne ikke er afsluttet og heller ikke vil være det indenfor det nærmeste år, må det siges, at afhandlingen set i denne sammenhæng ikke er helt fuldstændig. Det har imidlertid aldrig været meningen at kunne præsentere et helt færdigt programsystem i denne afhandling, hvor vægten har været lagt på den teoretiske modeludvikling. Derfor tillægges programsystemets ufuldstændighed ingen stor betydning.

Den videre programudviklingen foregår hos ViaNova i Oslo. Yderligere beskrivelse heraf er givet i programdokumentationen kapitel 5. Da programmet er under stadig udvikling er det svært at sige, hvor langt systemet akkurat er i skrivende stund.

I kapitel 4 og 5 er beskrevet, hvorledes det færdige system vil tage sig ud, men i det følgende vil yderligere blive beskrevet, hvorledes systemet vil kunne samarbejde med andre systemdele f.eks. i NovaCAD. Dette vil kunne lade sig gøre, idet alle oplysninger, der vedrører krydskonstruktionen, bliver gemt i NovaCAD's systemdatabase QUADRI, der ligeledes indeholder terrændata vejprojekter og meget andet. Informationerne bliver som beskrevet i kapitel 5 gemt i krydsningspunktet mellem primærvejen og sekundærvejen. Disse oplysninger vil af andre systemer f.eks. geografiske informationssystemer (GIS), kunne benyttes til trafikale analyser. Målinger af trafikstrømme igennem

forskellige typer kryds vil kunne sammenholdes med den geometriske udformning af krydset. Oplysningerne om krydset vil kunne suppleres med trafikdata, kapacitetsberegninger, tidsserieanalyser m.m. Således vil et knudepunktssystem opbygget af kryds over f.eks. en bydel med disse informationer kunne anvendes til en trafikal analyse ved hjælp af et GIS-system.

MIK vil blive underlagt en stadig udvikling. Tilpæning til nye programsystemer, ændringer i vejreglerne (herunder international tilpasning), generel udvikling af brugermiljøet, nye ideer og krav til systemet fra brugeren og ikke mindst rettelse af programfejl vil indebære, at der også et langt stykke ud i fremtiden skal arbejdes videre med programsystemet MIK.

Om nogle år vil systemerne formodentlig være så integrerede ind i hinanden, at det vil blive svært at skille selve MIK-systemet ud fra disse.

Sammensmeltning af kryds, der forløber ind i hinanden, samt meget specielle krydsudformninger, der kræver endnu mere generelle værktøjer og nye udformninger af f.eks. sekundærhjælp og primærhjælp, vil være udviklingsmuligheder, der kan gøre systemet endnu bedre og mere anvendeligt.

Løsninger af geometrisk karakter vil blive udviklet i forbindelse med et køretøjs svingbevægelser, der søges indbygget i programmet, så korrekte matematiske eller numeriske kørekurver og arealbehovskurver kan etableres i særlige situationer. Dette behov optræder ikke kun ved egentlige svingforløb, men også når det blot gælder om at komme igennem krydset ad primærvejen. Kantforløbet for primærvejen ved breddeudvidelsen etableres i dag ifølge vejreglerne som en S-kurve med to modsatvendte cirkelbuer. Denne udformning er køreteknisk ikke særlig hensigtsmæssig. Etablering af smallere veje (f.eks. med en kørebane på 6,5m), har været praktiseret i de sidste år pga. af stramme vejbudgetter. Derfor må kravet til mere præcise kørselsdynamiske udformninger øges. Herved kan et svingforløb efter et køretøjs eksakte drejeegenskaber hjælpe. Problemet om hvorvidt disse matematiske kurver kan udføres i praksis har været diskuteret i mange år. Tiden er inde til at gøre op med cirkelbuer og linier. Elektroniske hjælpemidler både til projekterings- og afsætningsformål vil kunne muliggøre

vilkårlige linieforløb, der ikke alene består af cirkelbuer og liniestykker. Hvorvidt man i praksis vil være villig til at benytte sådanne nye geometriformer er vanskeligt at vurdere. Det er svært at give analoge konstruktionsvejledninger til udførsel af denne form for geometri, som reelt må vente med at blive taget i anvendelse, til den mikroelektroniske projekteringshverdag har vundet indpas over alt.

Yderligere kunne det tænkes, at ideerne og dele af programmet udvikles til at kunne benyttes på helt andre områder end ved vejkryds. Værktøjskassen skulle i så fald gøres uafhængig af selve krydset og dets knudepunkt. Hvis de geometriske funktioner gøres mere generelle, vil værktøjskassen således kunne bruges til projektering af mange andre geometriske konstruktioner end ligesom ved udformningen af vejkryds.

# 8

## Konklusion

---

I det efterfølgende sammenhæftes de forudgående kapitler, og hovedsynspunkterne herfra trækkes frem. Samlet gives en vurdering af de resultater, som denne afhandling er kommet frem til.

Et af afhandlingens hovedmål var at udvikle idegrundlaget for en ny designmetode, som i kapitel 2.5 bliver defineret som multidynamisk. For at tydeliggøre ideen bag denne metode blev der i forbindelse med konstruktionen af et kanaliseringsanlæg, udviklet det teoretiske grundlag for et programsystem. Hertil er føjet en beskrivelse af den mere praktiske implementering i et program. Ideen hermed var at udvikle den teoretiske beskrivelse til en designmetode, der kunne afprøves i praksis.

Designmetoden kan benyttes i alle grene indenfor det, som i CAD-design populært kaldes for parametriske konstruktion. Der er her tale om en konstruktionsmetode, hvor hele eller dele af en konstruktionsstørrelse og udformning

bliver bestemt ud fra foruddefinerede parametre. Den multidynamiske designmetode erstatter delvist den traditionelle parameterændring, idet denne ikke foretages i menuer, men ved interaktiv ændring af de geometriske størrelser på selve tegningen. Parametrene bliver således sekundære. Metoden frigør i stedet den projekterendes kreative impulser til at blive anvendt på selve designarbejdet og ikke til kommunikation med edb-værktøjets numeriske inputdel.

Eksperten arbejder i stor udstrækning intuitivt, dvs. benytter sig af sin eksisterende viden og tænker mindre analytisk under designprocessen. Ved den multidynamiske designmetode er det netop muligt for eksperten/den projekterende at vurdere sit projekt visuelt ud fra erfaring med mulighed for genkendelse af tidligere situationer.

Selvom de forskellige geometriske forhold, som kræves overholdt i henhold til f.eks. de danske vejregler, bliver styret af systemet, er det muligt at foretage en direkte ændring i tegningen. Dette er en helt ny og ikke før set mulighed for interaktiv projektering. Denne mulighed er ikke forbeholdt det særlige system, som er genstand for denne afhandling, men kan udvikles indenfor al form for design i et CAD-anlæg, hvor tegning eller model er det grundlæggende produktmål.

Det var oprindeligt meningen, at programmodulet MIK skulle have været implementeret i en reel projekteringssituation. Da programmet dog stadigvæk ikke er helt færdigt har dette ikke været muligt.

Mange af de argumenter, som bliver benyttet i kapitel 3 bliver således svære at eftervise, idet den multidynamiske designmetode reelt ikke er benyttet i praksis.

Forfatteren har ved NovaCAD-brugermøder i Danmark og Norge haft lejlighed til at vise det halvfærdige programsystem og ikke mindst kunnet gøre rede for filosofien bagved den multidynamiske designmetode. Med forbehold i, at programmet kun blev demonstreret og tilhører/bruger ikke selv har kunnet afprøve programmet, var tilkendegivelserne overvejende positive. Enkelte påtalte muligheden for patentbeskyttelse af designmetoden, andre igen mente,

at de multistatiske programmer var tilstrækkelige.

En reel afprøvning af systemet ligger stadig forude, men forfatteren er meget optimistisk i henhold til accept hos de meget kræsne NovaCAD-brugere.

Hvorvidt denne designmetode vil finde indpas i andre fagområder, må stå i det uvisse, men også her vurderes det, vil man indenfor en nær fremtid se systemer med multidynamiske redigeringsværktøjer, simpelthen fordi brugeren vil kræve dem.

På sin vis har denne afhandling lagt op til flere spørgsmål, end den reelt har besvaret. Men i et arbejde, hvor man ikke skriver om historiske begivenheder, men prøver at beskrive nye veje for en del af fremtiden, kan det ikke undre. Hvert individ har sin egen opfattelse af, hvorledes en strømning vil gå ad den ene eller den anden vej, og således er de ideer og de fremsyn beskrevet i denne afhandling forfatterens egne.

En ting læseren måske har savnet i denne afhandling er et egentligt projekteringsseksempel. Det har da også været meningen at præsentere et sådant. For at vise den absolut nyeste udgave af programmet ventedes stort set til sidste øjeblik. Imidlertid er programmets nuværende udformning ikke i overensstemmelse med de ideer og ønsker fremført i afhandlingen, af denne grund vil et sådant projekteringsseksempel ikke blive præsenteret. I øvrigt underligger programmet en kontinuerlig forandring, hvilket ligeledes ville gøre det vanskeligt at præsentere programmet up to date. Da der i afhandlingen ikke har været lagt så stor vægt på selve programmet, men på designmetoden, tillægges denne egentlige mangel i afhandlingen særlig betydning. Yderligere er det reelt ViaNova i Norge, der har programmeret selve krydsprojekteringsystemet, hvilket måske endda gør det endnu mere rimeligt, ikke at præsentere dette her.

Forfatteren er ikke i tvivl om, at denne form for designmetode tilhører fremtiden. Det næste skridt vil være en interaktiv objektmanipulering direkte i en visualiseret 3D-model. Herved bliver genkendelsen fra en 2D-tegning hævet til et 3D-perspektiv med høj detaljeringsgrad. Det er politikere og bygherrer



som normalt har det sidste ord at skulle have sagt vedrørende et projekt. Desto bedre beslutningsgrundlag, der kan præsenteres fra rådgivernes side, desto bedre mulighed får beslutningstageren for at træffe kvalificerede valg.

De sidste bemærkninger i denne afhandling følger i dette afsnit, mens udviklingen af edb-værktøjer fortsætter med stor ihærdighed. Som nævnt i bl.a. forordet vil meget af det aktuelle stof i afhandlingen allerede på publiceringstidspunktet være forældet/historie. En stor del af det materiale, som har været gennemset og gennemlæst i forbindelse med udarbejdelsen af denne afhandling, bærer ligeledes præg af en hastig forældelse på dette område. Alligevel er denne afhandling en del af en stor proces, som efter forfatterens opfattelse endnu kun er i sine barneår. Edb-teknologien udvikles hastigt, og derfor er det vigtigt at øve indflydelse på denne udvikling, så denne er bæredygtig på andre områder end kun de indtægtsgivende hovedsystemleverandører. Det er forfatterens håb, at dele af denne afhandling vil kunne bringe nye ideer frem i lyset og på den måde bidrage til en bæredygtig edb-udvikling i fremtiden.





# Litteraturliste

- 1.10.01, 1980    1.10.01Vejnomenklatur, Administrative forhold, Vejdirektoratet - Vejregeludvalget, december 1980, ISBN 87-7491-047-7.
- 5.30.01, 1983    5.50.01Vejteknik, Knudepunkter i et plan, Vejregler for vejkryds i åbent land, Vejdirektoratet - Vejregeludvalget oktober 1983, ISBN 87-7491-110-4.
- Andersen, 1991    Andersen, Niels Erik m.fl.: Professionel systemudvikling Erfaringer muligheder og handling, Teknisk forlag A/S København, 1. udgave, 5. oplag, 1991. ISBN 87-571-0958-3
- Dreyfus, 1991    Dreyfus, Hubert. og Stuart.: Intuitiv eksperptise, Den bristende drøm om tænkende maskiner, Nysyn - Munksgaard, 1 udgave, 1 oplag, 1991, ISBN 87-16-10542-7.
- Ehn, 1989    Ehn, Pelle : Work-Oriented Design of Computer Artifacts Arbetslivscentrum, Stockholm, 2 udgave 1989, ISBN 91-86158-45-7.
- Flensburg, 1990    Flensburg, Per; Pries-Heje, Jan: Systemudvikling mål brugeren i centrum. Studentlitteratur, Lund, 1990, ISBN 91-44-28831-X
- Fysiske, 1978    Fysiske forudsætninger, Vejdirektoratet, Vejregelsekretariatet, Vejregelforberedende rapport 1, 1978, ISBN 87-7491-055-8.
- Ipsen, 1986    Ipsen, Sanne: Tusch eller skærm, Teknologisk Institut, 1

udgave, 1 oplag, 1986, ISBN 87-7511-663-4

- Kendall, 1988     Kendall, Kenneth; Kendall Julie: *System Analysis and Design*, Prentice-Hall, Inc. 1988, ISBN 0-13-881228-4.
- Kernighan, 1991     Kernighan, Brian W.; Ritchie, Dennis M. (oversat af Jørgen Flores): *C programmering*. Teknisk Forlag, København og Prentice Hall, Hemel Hemstead, England, 2. udgave, 1991, ISBN 87-571-1347-5.
- Kochan, 1988     Kochan, Stephen G.: *Programming in C*. Hayden Books Revised Edition, 1988, ISBN 0-672-48420-X.
- Krenz, 1964     Krenz, Alfred; Osterloh, Horst: *Die Bordsteinführung* Bauverlag GMBH - Wiesbaden - Berlin, 2. Auflage 1964.
- Laurel, 1990     Laurel, Brenda: *The Art Of Humancomputer Interface Design*, Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1990 ISBN 0-201-51797-3.
- Nielsen, 1991     Nielsen, Peter: *Personlig databehandling og udvikling af informationssystemer*, Aalborg Universitetsforlag, 1991, ISBN 87-7307-441-1.
- RAS-K-1, 1988     Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Knotenpunkte, Abschnitt1: Plangleiche Knotenpunkte, RAS-K-1, Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen, Köln, Ausgabe 1988.
- Thagesen, 1984     Thagesen, Bent: *Lærebog i vejbygning*, Bind 1, Trafik og geometri, Polyteknisk forlag, 1984, ISBN 87-502-0600-1.
- Warman, 1987     Warman, E. A.; Yoshikawa, H: *Design Theory for CAD* North-Holland, 1987, ISBN 0-444-70151-6.

# Appendices

---



# A

## Systemudvikling

---

### A.1 Hvad er systemudvikling ?

Selvom systemudviklingen som sådan kun har en sekundær betydning for denne afhandling, og derfor kun er behandlet i dette appendiks, er det ikke helt uvæsentligt at få denne side af afhandlingen med. De beskrevne processer indenfor den teoretiske systemudvikling har haft indflydelse på, hvordan afhandlingens problemstilling er blevet grebet an. Inden de forskellige trin i systemudviklingen beskrives, vil der kort blive gjort rede for, hvad der egentlig forstås ved systemudvikling i edb-branchen.

Der er skrevet meget om dette emne, og her skal blot nævnes de generelle beskrivelser og deres betydning relateret til afhandlingens sammenhæng. Der vil ikke blive givet nogen uddybende beskrivelse, men kun en introduktion til



emnet, idet dette som nævnt ikke er kernen i afhandlingen, men kun en underordnet del af hele den proces, som afhandlingen er et udtryk for.

I litteraturen om emnet beskrives systemudvikling udfra det edb-miljø, der arbejdes i. Typisk beskrives databasesystemer indenfor den offentlige forvaltning, lagerstyring eller økonomi. På denne måde overses mange facetter, som gøre sig gældende indenfor andre mindst lige så vigtige områder af edb-verdenen. Selvom de grundlæggende principper for anvendelse af edb er ens for alle områder, så vil der i alle faser skulle tages hensyn til, hvem man skriver programmet til, og i hvilken sammenhæng de skal benyttes. Da den følgende beskrivelse skal relateres til CAD-miljøet, er der set bort fra de forhold, der kun har relevans for andre edb-anvendelsesområder.

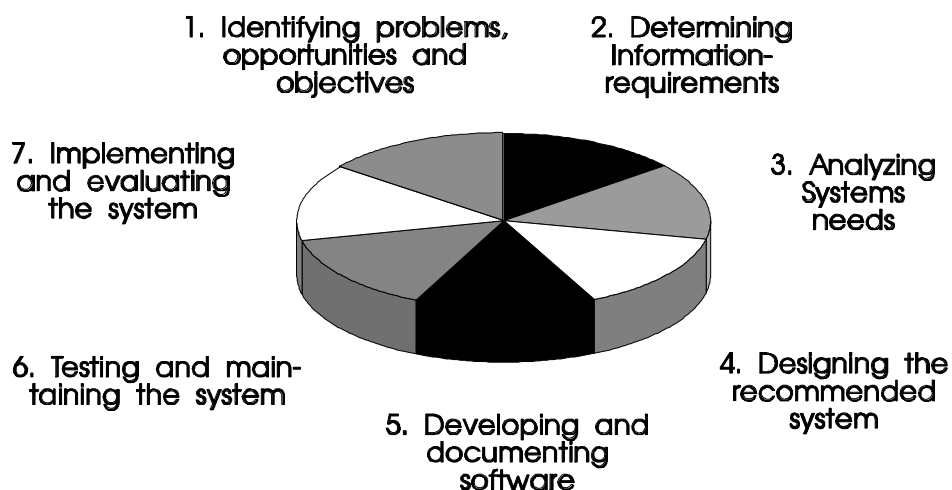
## **Generelle forhold**

Der findes en dansk standard for systemudvikling, der stammer tilbage fra 1972 Den blev udarbejdet under det nu nedlagte edb-råd og betegnes SYSKON. SYSKON blev beskrevet i en bog, der omhandlede konstruktion af datamatiske systemer.

SYSKON angiver otte klart afgrænsede faser:

- Idefasen
- Analysefasen
- Skitsefasen
- Projekteringsfasen
- Specifikationsfasen
- Programmerings- og testfasen
- Konverteringsfasen
- Driftsfasen

Disse faser opdeles igen i delfaser, som vil være divergerende fra system til system. De enkelte faser skal ikke kommenteres her, idet SYSKON på mange områder er forældet, og de nævnte faser må betragtes som meget generelle. Enkelte af de beskrevne faser er dog fortsat ganske aktuelle og anvendelige.



*Fig. A1 Kendall & Kendall, System Life Cycle /Flensburg, 1990/.*

Kendall & Kendall /Kendall, 1988/ benytter en lidt anden og mere moderne terminologi, men beskriver stort set det samme, hvilket figuren A1 også viser. I SYSKON's fremstilling kan man undre sig over, at specifikationsfasen kommer efter projekteringsfasen, og at der benyttes en såkaldt konverteringsfase, hvilket man under normale omstændigheder, med de værktøjer der benyttes i dag, ikke behøver længere. Kendall & Kendall modellen er mere tidssvarende. Hvor de indledende manøvrer ligner modellen fra 1972 ses forskellen i punkt 6 og 7, hvor der i Kendalls & Kendalls modellen indføres en evaluering af hele systemet. Kendall & Kendall kalder også modellen "*System Life Cycle*" (SLC), idet evalueringen igen fører til nye ideer, programændringer osv. Således vokser "skiven" støt, eller måske udtrykt mere præcist, den udskiftes med en større og nyere skive for hver cyklus i systemudviklingen.

## **Design-analyse**

Design-analysen er en sammensmeltning af analyse- og design-faserne. Den indeholder både det grundlæggende brugergrænsedesign og det egentlige programdesign, hvor den første del forekommer at være den vigtigste.

Som oftest har man valgt det grundlæggende edb-system på forhånd. Derigennem begrænses hele programudviklingen på forhånd. Da AutoCAD-systemet blev valgt på et meget tidligt tidspunkt i afhandlingens udviklingsproces, vil fasen design-analyse mere eller mindre skulle knyttes tæt op til dennes interfacedesign, og også blive begrænset heraf. Imidlertid er der stadig et stort spillerum for design af det interaktive arbejde i systemet, hvilket danner kernen for afhandlingen, idet en multidynamisk designmetode udvikles. Selve programdesignet er der til gengæld ikke gjort meget ud af. Dette forhold skulle vise sig at få stor betydning for projektets forløb, idet det grundlæggende programkoncept ikke var bæredygtigt for MIK-systemet, og et nyt koncept indebærende skift af programmeringssprog derfor måtte udarbejdes. Denne erkendelse var svær at forudse for en ikke professionel programmør.

## **Bruger contra udvikler**

Det væsentligste punkt under systemudviklingen er, at man tilgodeser det egentlige behov hos brugeren, som programmet skal opfylde. På figur A2 illustreres på bedste vis, hvordan det kan gå, når vi hver især lever i vore verdener uden indfølelses- og formidlingsevne.

*Fig. A2 Illustration /Flensburg, 1990/.*

Alt for tit sker det, og det ikke kun ved edb-systemer, at man taler forbi hinanden, fordi hver part i sagen på forhånd har sin bestemte opfattelse af ord og ting.

Man er faktisk nødt til at betragte situationen lidt filosofisk. Problemet opstår ved kommunikationen mellem bruger og udvikler, når disse to parter formidler til hinanden. En hat er ikke bare en hat. Det kræver langt større præcision at beskrive en hat, der kan benyttes til mere end kun et bestemt formål. Da bruger og udvikler arbejder i hver deres sproglige og begrebsmæssige verden, ville det kræve en intens jagt på definitioner for at præcisere, hvad det egentlig er, man mener, når man siger hat. I det øjeblik begge parter samtidig er overbevist om, at netop deres indbyrdes afvigende opfattelse af hat er den rette, opstår det første problem.

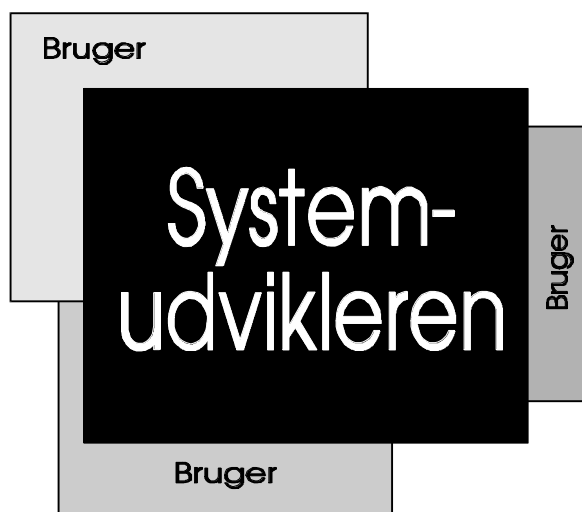
Selvfølgelig kendes situationen også fra dagligdagen, men her har den knap så stor betydning, som hvis et edb-system udvikles på baggrund af forkerte termer/betegnelser. I edb-verdenen formidles ofte mellem to forskellige faggrupper med hver sit sæt af fagudtryk og begreber.

Nobelpristageren Herbert Simon sagde "*Kommunikation indenfor to fag er let. Mellem to fag er det svært*". Sidstnævnte situation er her faktisk at foretrække, når det drejer sig om edb-udvikling, idet parterne er nødt til at præcisere, hvad det er, de mener, når de siger "hat" for at bruge forudgående eksempel.

Forfatterens indgående kendskab til vejbygningsfaget skulle kunne reducere risikoen for misforståelser og fejlfortolkninger ved specifikationen af programsystemet. Men netop kendskab til begge begrebsverdener kan medføre forudindtagethed og begrænsninger af ideer fra brugerens side.

## Fare for udviklerdominans

Vi har netop været inde på kommunikationskløften mellem de forskellige fagverdener og på de vanskeligheder, der kan optræde, når man skal kommunikere med et fagsprog som redskab. Udover kommunikationskløften kan udviklerdominans virke negativt på systemudviklingen. Hvis systemudvikleren har en



*Fig. A3 Systemudvikleren dominerer.*

forudindtaget mening om, hvordan systemet skal skrues sammen, og stort set ignorerer de ønsker, der kommer ikke mindst fra slutbrugeren, risikerer man, at der udvikles noget helt andet, end hvad der oprindeligt var meningen, se figur A3. Figuren skal illustrere den situation, hvor systemudvikleren prøver at komme i dialog med brugerne, men overdøver deres ønsker og ideer

med sin egen opfattelse af det fremtidige system. Det siger sig selv, at resultaterne vil blive derefter.

## Omkostninger ved systemudviklingen

Omkostninger er en faktor, som er meget frygtet blandt udviklere. Omkostningsfaktoren ved systemudviklingen er en meget diffus faktor, og den vil sommetider inddirekte være årsage til konkurs eller salg, som man så det hos det danske elektronik-flagskib Brüel og Kjær sommeren 1992, hvor dette firma blev solgt til et tysk gigantfirma.

Valget af det grundlæggende system i denne afhandling har dog været præget af omkostningsfaktoren, idet det har været nødvendigt at vælge et CAD-system, som kan håndteres på en PC'er, hvilket stadigvæk er den billigste edb-løsning i dag. Men samtidig åbnes dermed muligheden for, at mange flere får muligheden for at prøve systemet og give det så stor en udbredelse som muligt. Ved valg af generel hardware og CAD-plattform spares der ved valg af PC-løsning ikke blot penge, men denne giver også andre mulighed for at få indblik i det designsystem, som er udviklet i denne afhandling.

## **Behovsanalysen**

For enhver markedsføring kræves der en forudgående behovsanalyse for produktet. Ligeledes bør en sådan analyse foretages på det forestående systemudviklingsarbejde. Læs herom også i appendiks A2, brugeren i centrum.

Det er vigtigt for udvikleren at forstå, at systemudviklingen ikke primært drejer sig om at bearbejde data, selvom forkortelsen edb ellers berettiger til dette, men om kommunikation mellem menneske og computer (IDB for **I**nteraktiv **D**ata**B**ehandling var måske en mere nærliggende betegnelse). Således er det vigtigste at kunne kommunikere med systemet på en rationel, intuitiv og interaktiv måde. At kombinere principperne "rationel" og "intuitiv" lyder måske umiddelbart som noget umuligt. Men behovet herfor er tilstede, idet intuitionen udgår fra brugeren, der i forbindelse med automationen af en gammelkendt arbejdsproces bør kunne arbejde så tæt på de gamle rutiner som muligt, i sammenspil med maskinens rationelle bearbejdning af brugernes ideer og input.

Dette er den traditionelle opfattelse. Men der kan også argumenteres imod at udvikle programmer, der blot erstatter gamle arbejdsprocesser. Gamle arbejdsprocesser bør ikke kun opfattes positivt, idet de er baseret på vaner og ikke mindst på gammel teknologi. Netop dette faktum er den største forhindring ved indførelse af ny teknologi. Skal systemudvikleren se stort på gamle arbejdsrutiner og i stedet optimere arbejdsprocessen på edb? Eller skal han/hun

tage højde for, at systemet måske bliver mere populært hos traditionelt indstillede brugere, ved at tillempes systemet så meget som muligt til de gammelkendte arbejdsgange.

Et kompromis forekommer her at være den eneste mulige løsning. Det er ikke teknisk muligt at overføre alle de gamle arbejdsrutiner til et moderne edb-system. Derfor vil der uvilkaarligt opstå en kombination af nyt og gammelt. Behovet for at få erstattet trivielle arbejdsrutiner bliver således opfyldt ved en delvis afskaffelse af disse og gennem tilføjelse af nye og forhåbentlig mere inspirerende arbejdsprocesser. Ved udvikling af en ny designfilosofi, som er kernen i denne afhandling, vil man ikke kunne undgå at støde på den ovenfor beskrevne problemstilling, idet det netop er selve arbejdsprocessen, der laves om på, i forhold til traditionelle CAD-systemer og herunder multistatiske systemer.

## **Prototyping**

Betegnelsen Prototyping beskriver den situation, hvor der er mulighed for at udvikle en skal/forsøgsmodel, der ligger så tæt på slutresultatet som muligt. Det er indlysende, at man med sådan en model har gode muligheder for at rette systemet til, så slutresultatet bliver så optimalt som muligt, uden at systemet skal redigeres og skrives om igen og igen efter hver evalueringsfase.

Denne form for systemudvikling anbefales på det varmeste fra flere sider. Dog forudsættes det her, at man arbejder med fjerde generations programmeringssprog (4GL). Disse sprogtyper arbejder udfra færdige objektorienterede systemskaller, f.eks. et databasesystem, et færdigt styresystem, f.eks. NeXT, eller andre værktøjer som Visual C++. Udfra disse skaller er det "relativt enkelt" at danne en model for et næsten færdigt system. Det er således muligt at danne hele layoutet, f.eks. skærbillederne med forskellige rubrikker, selvom der ikke ligger nogen form for databehandling bag. På denne måde kan man designe sin brugergrænseflade først, og se om den er hensigtsmæssig.



I afhandlingens systemudvikling er dette princip imidlertid næsten umuligt at udføre. Dette skyldes primært AutoCAD-programmet, hvis udviklingsmiljø kun i begrænset omfang tillader en form for prototyping. Det er kun muligt at beskrive menuvinduerne som danner indgangsvinklen til f.eks. krydsprojekteringsprogrammet, uden at egentlig programmering behøver at finde sted. Således kan de indledende menuer udvikles, inden programmet som sådan er færdigt. Selve den multidynamiske designmetode er det ikke muligt at afprøve ved prototyping.

### **Systemudviklerens personlige færdigheder**

Det kræves af systemudvikleren, at denne medbringer en del egenskaber, som ikke kan forventes at være en selvfølge. Systemudvikleren skal have en god evne til at kommunikere, jfr. de tidligere omtalte forhold. Udvikleren skal have en evne til at tænke analytisk, idet hele systemet skal startes fra den rigtige ende og udvikles i den rigtige retning i forhold til det opstillede mål, og med de rigtige midler og procedurer. Der kræves kreativitet til at finde løsninger på uforudsete problemer. Kreativitet kræves også ved de utraditionelle former for design, som vil være påkrævet, eksempelvis ved udvikling af MIK eller tilsvarende systemer.

At holde styr på alle informationerne og få dem indpasset i systemet og at programmere, så andre kan gå ind i programmet og foretage ændringer og evt. skifte programmeringssproget ud med et andet, kræver alt sammen en veludviklet sans for struktureret programmering.

## **A2. Brugeren i centrum**

Den væsentlige forskel mellem den traditionelle systemudvikling og den eksperimentelle systemudvikling ligger i, at systemudvikleren ved sidstnævnte inddrager brugerne på et meget tidligt tidspunkt af udviklingsfasen og holder en tæt kontakt med disse under hele udviklingen.

I praksis møder de fleste systemudviklere først brugeren, efter at programmet er præsenteret for offentligheden. Kontakten til brugeren er herefter sjældent af særlig behagelig art. Der skældes gerne ud over programmets uduelighed og fejl i denne fase.

Fejl i programmet er imidlertid et problem som alle systemudviklere kender til, ligemeget hvor omhyggelige de er under udviklingen af systemet. Udvikling i det objektorienterede miljø giver imidlertid mulighed for en delvis kvalitetskontrol, idet forskellige programmer kan arve objekter fra et slags bibliotek. Findes en fejl i et af disse objekter vil en rettelse her betyde, at alle programmer der benytter dette objekt, ved en simpel rekompilering ligeledes vil blive rettet. Dette er en af de helt store fordele ved objektorienteret programmering.

## **Startfasen**

Det er vigtigt at inddrage brugerne så tidligt som muligt, fordi disse herved kan være med til at beskrive ideer og ønsker til systemet. Specielt er dette til stor nytte ved udviklingen af et helt nyt system. Ved et færdigudviklet system er ønsker om nye funktioner og muligheder fremherskende ved en dialog mellem bruger og udvikler.

I den spæde start kan brugerne være med til at bestemme brugerlayout, også kaldet brugergrænsefladen, dvs. skærm billedets udseende og den form for interaktion, der skal foregå mellem maskine og menneske.

På figur A4 ses denne model præsenteret som en idealmode, hvor systemudvikleren bliver bombarderet med forskellige input fra de involverede parter.

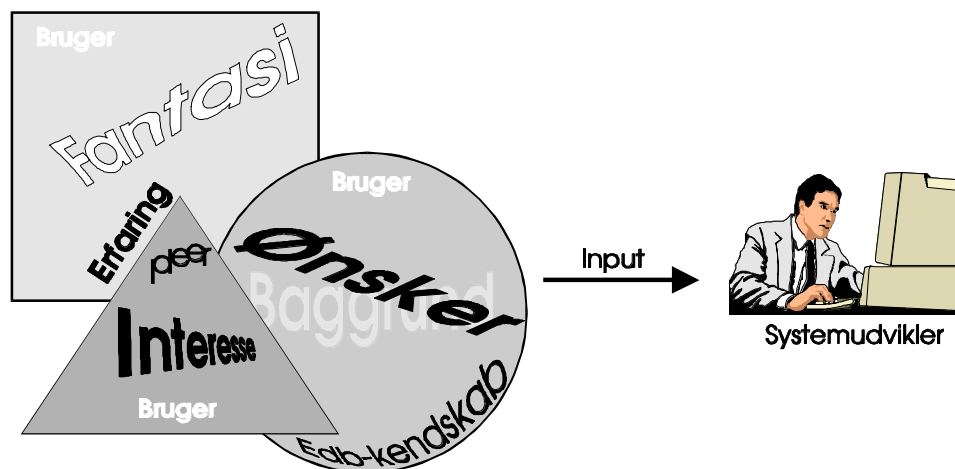


Fig. A4 Forskellige påvirkninger på systemudvikleren.

Disse behøver ikke kun at være brugerne, men som oftest er det disse. Systemudviklerens opgave er herefter at danne en syntese af alle disse opfattelser af systemet og at formulere et kompromis, hvis ikke alle ønsker kan tilgodeses eller disse ligefrem er modstridende.

I afhandlingens systemudvikling er dette dog kun muligt i begrænset omfang, da grundsystemet er baseret på AutoCAD, som har indbygget en bestemt udformning af brugergrænsefladen på forhånd.

Formålet med denne form for systemudvikling er at give så meget indflydelsesrigt input til udvikleren som muligt. Denne udvikler herefter om muligt en prototype af systemet, hvad enten denne prototype vil fremstå som ideer på nogle skitser eller ligefrem optræde i form af det interaktive layout, som det vil kunne tage sig ud på edb-skærmen.

Somme tider er brugerne så dybt involveret i udviklingen, at de ligefrem er med til at udvikle dele af systemet. Dette kan normalt kun lade sig gøre ved 4GL sprog samt med edb-erfarne brugere.

## Ekspérimentel contra traditionel systemudviklingsmodel

På figur A5 er forsøgt illustreret, hvorledes systemudviklingens vigtigste opgave, kravspecifikationerne, vil tage sig ud under de to typer udviklingsmodeller.

Ved den traditionelle model vil man udfra en analytisk fase og en designfase komme frem til en form for kravspecifikation, som der så arbejdes videre udfra. Ved den eksperimentelle model udgør kravspecifikationerne en dynamisk del af udviklingsfaserne. Som nævnt inddrages brugerne under

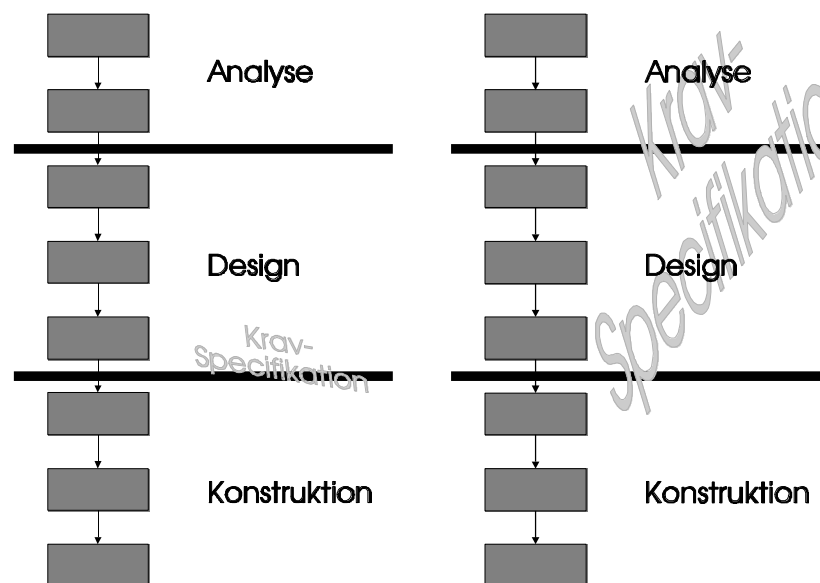


Fig. A5 *Kravspecifikationens indflydelse på systemudviklingen ved den traditionelle (venstre) og eksperimentelle udviklingsmodel (højre).*

denne form helt fra begyndelsen. Alene dette forhold kræver, at der gennemføres en mindre designanalyse, allerede inden systemudvikleren for alvor er kommet igang.

Den traditionelle systemudvikling bliver ofte kritiseret for:

- dårlig accept hos brugeren
- for dyrt
- resultater i konflikt med det ønskede
- høje vedligeholdsudgifter.

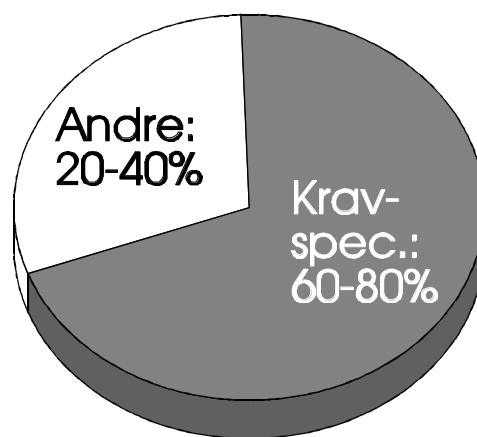
Særligt det sidste er et meget forsømt eller nærmest ignoreret punkt.

Det siger sig selv, at brugeren i centrum vil have en meget større indflydelse på slutproduktet og, hvad der måske er vigtigere, denne vil føle et medansvar for systemet. Dette giver en helt anden frihed for udvikleren, der således kan henvise til, at "det har du selv ønsket".

Ud fra de løbende opståede ønsker under analyse- og designfasen, er det muligt mere præcist at fastslå prisen på systemudviklingen. Man kan samholde situationen med en licitation, hvor bygherren udfærdiger et licitationsmateriale - her kravspecifikationer - og vil have dette udført indenfor en fast tidsramme.

Ved den traditionelle model kendes faktisk kun udgangspunktet og slutproduktet i skitseform. Ansvar for en fornuftig og hensigtsmæssig analyse- og designfase ligger således hos systemudvikleren.

En undersøgelse foretaget i USA viser, at de største mangler ved traditionel systemudvikling er kravspecifikationerne som står for 60 - 80 % af fejkilderne ved systemet, se figur A6.



For at undgå misforståelser og fejl er der i afhandlingen brugt en del ressourcer på at opstille kravspecifikationer til krydsprojekteringen. Sidst-

*Fig. A6 Fejkilder ved systemudvikling.*

nævnte vil blive gennemgået, efter at hele udviklingsmodellen med sine delfaser står klar.

## A3. Udviklingsmodellen

I de første to afsnit i appendix A blev den generelle og den eksperimentelle systemudvikling beskrevet. I det følgende beskrives en systemudvikling indenfor CAD-miljøet, som den vil tage sig ud i afhandlingens tilfælde. Beskrivelsen tager udgangspunkt i figur A6 næste side.

Kendall & Kendall - modellen bliver her ikke ført ud i livet i sin fulde udstrækning. Her tænkes specielt på modellen set som en cyklisk model. Det forventes med brugeren i centrum, at udviklingen af MIK-systemet kan afsluttes med en justering og afhjælpning af fejl i systemet.

Den cykliske proces forudsætter, at man revurderer hele systemet efter endt udvikling. Enkelte modeller forudsætter endda, at systemet tages op til revurdering efter hver fase<sup>12</sup>.

Det siger sig selv, at udvikleren vil være mindre og mindre tilbøjelig til at ændre på hele modellen, efterhånden som man skrider frem igennem faserne til det færdige program

---

<sup>12</sup>

H. L. Capron, 1986.

---

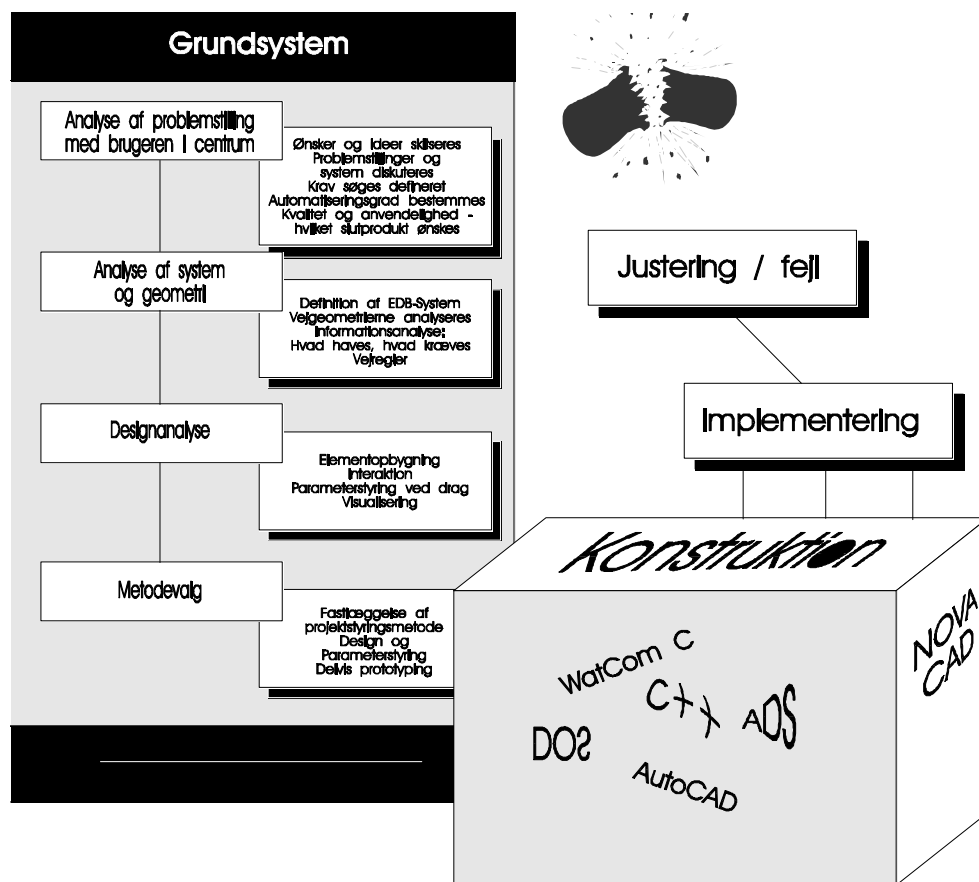


Fig. A6 Systemudviklingsmodellen for afhandlingen.

Kendall & Kendall's cykliske proces anvendes heller ikke så meget ved en omstrukturering, men mere ved en supplerung og justering af systemet.

Med opmærksomheden rettet mod den endelige kravspecifikation vil det være muligt at udvikle et system, der stort set svarer til det, man forventer af det. Systemet bør indeholde de funktioner og virke på en sådan måde, at de involverede parter (udvikler, brugere, projektledere m.fl.) kan genkende de indledende diskussioner, skitser, ønsker og mere specifikke krav.

Der vil uden tvivl komme flere ønsker til systemet, når det først er blevet implementeret. Men den grundlæggende designmodel og de metoder, der anvendes til projekteringen, bør ligge fast.

Hvis der optræder yderligere ønsker og ideer, vil der således være tale om et supplement til det eksisterende, og det er ikke nødvendigt at gentage hele udviklingsmodellen, idet der blot kan ske en supplerings af delementer. Dette gør det selvfølgelig meget nemmere at videreudvikle yderligere.

Grunden til at videreudviklingen nævnes her er, at der ved udviklingen af MIK-systemet er gjort det samme, idet udviklingen er baseret på et eksisterende system, der hedder NovaCAD. Dette system har allerede på forhånd indbygget et bestemt layout, som er meget afhængig af og ligger meget tæt op ad AutoCAD's.

Alligevel vurderes det, at det er muligt indenfor disse rammer at udvikle afhandlingens ideer vedrørende den multidynamiske designfilosofi - et noget nært revolutionerende system - der gør op med de traditionelle designmetoder.

Af det efterfølgende afsnit, der omhandler det meget vigtige emne kravspecifikationerne, vil det således fremgå, at kravene til design er rimeligt store i MIK-systemet.

## A4. Kravspecifikation for MIK

I det forudgående har der været talt meget om brugerne. Disse skal nu inddrages i systemudviklingens tidlige fase, analysefasen. Her er spørgsmålet, hvad er de egentlige behov?

Hensynet til brugerens behov er søgt tilgodeset ved at inddrage et brugerpanel fra de steder, hvor der projekteres veje og dermed kryds her i landet. Da hovedparten af al vejprojektering, måske ikke i kroner og øre, men i mandtimer foregår i amtsvejvæsenene (endnu da), var det naturligt at tage udgangspunkt her. For at spare på ressourcerne valgtes det kun at kontakte to amter, hør



Århus og Nordjyllands Amt. Sammensætningen af brugerpanelet fremgår af nedenstående.

I amtsvejvæsenerne udføres projekteringen af såvel ingeniører som af erfare

**Sammensætning af brugerpanelet i amterne:**

**Århus Amt:**

Sektionsleder Anders Aagaard Poulsen  
Ingeniør Jørgen Nielsen

**Nordjyllands Amt:**

Ingeniør Jan Christensen  
Assistent Jens Vangsgaard  
Ingeniør Frank Studstrup

assistenter, hvilket der under udvælgelsen af brugerpanelet er blevet taget hensyn til. Samtlige udvalgte personer har direkte eller indirekte berøring med krydsprojektering. Specielt skal nævnes, at Anders Aagaard Poulsen som sektionsleder i anlægsafdelingen håndterer den mere overordnede styring vedrørende krydsprojektering. Han deltog i øvrigt ved udarbejdelsen af de nu gældende vejregler for kryds i åbent land.

For Nordjyllands Amt skal nævnes, at Frank Studstrup ikke deltager i den direkte anlægsprojektering, men arbejder med skitseprojektering i planlægningsafdelingen. Dette skulle vise sig at blive et givende bekendtskab, idet planlægningsafdelingens forestillinger om, hvilke behov systemet bør opfylde, divergerer fra de andre brugeres opfattelse.

Selve interviewene forløb som en uformel snak omkring krydsprojektering Hvilke funktioner systemet bør have, og hvilke ikke er ønskelige. Det forsøgt

i så stor udstrækning som muligt at ladebrugerpanelet føre ordet omkring ideer og muligheder i krydsprojekteringssystemet, ganske i overensstemmelse med problematikken omkring udviklerdominansen. Men det kan ikke udelukkes, at brugerpanelet er blevet påvirket af de ideer afhandlingens forfatter havde til systemet.

I det følgende beskrives først de overordnede ideer hos de to udvalgte amter, derefter amternes ideer under ét, specificeret ud på krydsets geometri.

## **Århus Amt**

Århus Amt bærer præg af, at der forefindes mange kryds i byområder, hvoraf mange er signalregulerede kryds. Yderligere projekteres vejkryds i det åbne land, typisk i forbindelse med sortpletsbekæmpelsen.

Dette vanskeliggør en automatisering af systemet, idet der simpelthen ikke er to kryds, der er ens. Tager man den tredje dimension med til håndtering af afvandning bliver det endnu vanskeligere, fordi det normalt tilstræbes at arbejdet udføres med et minimum af reguleringsasfalt. Dette betyder, at man må gå på kompromis med den optimale afvandingsløsning. Man vælger simpelthen som oftest at bibeholde eksisterende tværfald på vejen, selvom dette ikke er optimalt i forhold til afvandingsforholdene, men kun optimalt i forhold til asfaltøkonomien for det nyanlagte kryds.

Det blev fra amtets side understreget, at man stort set ikke har to kryds, der er ens. Dette begrundes med, at man på de forskellige lokaliteter må tage højde for eksisterende forhold. Dette betyder, at man ofte må indsnævre tværprofilet lidt, afkorte nogle vognbaner, vælge andre radier for kørebanekanten end krævet i vejreglerne, m.m.

Med disse kommentarer i baghovedet vil det ikke undre, at Århus Amtsvejvæsen ikke er ude efter et forkromet krydsprojekteringsprogram, men har behov for hjælpefunktioner, som værktøj til at konstruere et kryds i detaljerne.

Generelt ønskede man et system, der som tidligere nævnt aflaster de trivielle delberegninger og udarbejdelse af tegninger, men som samtidig giver en frihed til at designe et kryds efter individuelle behov forårsaget af konkrete lokale forhold.

## **Nordjyllands Amt**

Selvom Nordjyllands Amt i modsætning til Århus Amt overvejende er et udpræget landligt område med store åbne vejstrækninger, går nogle af de ønsker, der blev fremført af Århus Amt igen her.

Projekteringserfaringen i Danmark viser, at kryds på forskellige lokaliteter ikke er ens, og man benytter kun vejreglerne som vejledning til projekteringen. De fremkomne dimensioner manipuleres efter behov. Typisk gøres decelerationsstrækningen kortere end anbefalet i vejreglerne. Ofte vælger manstik modsat sund geometrisk fornuft en ensidig udvidelse af kørebanebredden med bibeholdelse af eksisterende tagformet tværprofil for krydsenes primærveje kantbaner reduceres i bredden, osv.

Noget man bruger vejreglerne en del til, er udformingen af primær- og sekundærhellen. Her foreligger der et ganske vist vanskeligt, men dog håndterbart regelsæt.

I planlægningsøjemed, hvor der her tænkes på skitseprojekteringen, har man i Nordjyllands Amt ønsket en form for krydsskabelon, som kunne anvendes som principtegning i et større målforhold, typisk 1:4000. Et målforhold som skitser for nye større vejanlæg udfærdiges i. Selvom en sådan skabelon for løsningen af kryds ikke vil kunne anvendes i detailprojekteringen, vil de formodede

pladskrav alligevel kunne fremgå af skitsen. Et multidynamisk system vil herefter give mulighed for i detailprojekteringen at rette krydset til. En helt ny konstruktion kan også vælges, hvis f.eks. forudsætningerne for krydsudformningen er ændret meget fra skitse- til detailprojekteringen.

Også i Nordjyllands Amt var man klar tilhænger af at få et projekteringshjælpemiddel, i stedet for et eller andet fuldt automatiseret system. Ved en fuldstændig automatisering af projekteringen kræves der et for stort redigeringsarbejde bagefter. Opbygges systemet derimod i dele, vil det løbende være muligt at komme frem til det ønskede resultat.

Der blev stillet et generelt krav omkring geometriske kontroller, i det omfang det kunne lade sig gøre. Dette krav kommer lidt i modstrid med ønskerne fra Århus Amt, hvor man mere eller mindre frabedte sig en kontrol fra systemets side, fordi man ofte "bevægede sig ude på dybt vand". Kontrollen kunne udføres som simple meldinger eller mere håndfaste ordrer om restriktioner for projekteringen. Førstnævnte blev klart foretrukket.

Et andet krav, som ligger nær overstående, er benyttelsen af sammenhængende geometriske modeller. Bevæger man en del af en model, skal de tilhørende elementer flytte med i forhold til et sæt regler. Dette lyder umiddelbart som et godt princip, men her vil man skulle overveje en niveaudeling, idet det sommetider vil det være en fordel, hvis de enkelte dele er uafhængige af hinanden. Systemet vil kunne kombineres med, at man enten vælger en blok af elementer, der hænger sammen geometrisk, eller helt frakobler den geometriske kontrol. Dette er nogle af de første tanker omkring udviklingen af et multidynamisk projekteringssystem.

## **Interaktiv håndtering**

Udover de krav, som amterne havde til selve håndteringen af geometrien, såsom beregning og udtegning, må der opstilles krav til selve den interaktive proces i projekteringen.

Her ønskes der en direkte kontakt til tegningen, dvs. at man ønsker en kontrolleret mulighed for at trække de forskellige elementer rundt på tegningen med den førnævnte indbyrdes geometriske afhængighed, jfr. begrebet dragging.

Systemet skal altså kunne håndtere de "drag and drop" funktioner, som med tiden er blevet kendt fra Apple og sidenhen i Windows, samt i AutoCAD. Her peger man på de objekter, der ønskes flyttet, hvorefter man rent faktisk kan se en hel blok (deltegning) flytte rundt på skærmen.

Den afgørende forskel i forhold til det kommende MIK-system er blot, at der her ikke er en egentlig tegningsblok kendt fra AutoCAD, men en konstruktion, der ud fra geometriske parametre forandrer strukturen, alt efter hvilken forandring disse parametre udsættes for interaktivt under udarbejdelsen af tegningen.

Samtidig må der stilles krav til at kunne følge forandringen af disse konstruktionsparametre. Dette vil kunne gøres ved at placere disse værdier i en kolonneoversigt i højre side af skærbilledet eller i et vindue placeret inde på skærbilledet.

## **Delprocesser**

Det skal præciseres, at man fra begges amters side foretrak et krydsprojekteringssystem, der er opdelt i delprocedurer, altså bestående af små hjælpefunktioner, som uafhængigt af hinanden kan hjælpe med projektering af de enkelte elementer af krydset.

Disse elementer består af primærhelle, sekundærhelle, tilslutningskanter bestående af 1,2 eller 3 cirkelbuer og af kanter for de forskellige breddeudvidelsesstrækninger, samt evt. svingspor og afmærkning. Der benyttes vejreglernes definitioner af de enkelte geometriske elementer.

Afmærkningen har umiddelbart ingen betydning for de geometriske betingelser, der stilles til et kryds ifølge vejreglerne. Imidlertid er afmærkningen et meget vigtigt element i et kryds. Der er ingen tvivl om, at fremtidige vejregler for krydsprojektering vil tage mere højde for dette faktum. Hvorvidt der allerede nu kan tages højde for afmærkningen under systemudviklingen, er vanskeligt at sige. Man kunne forestille sig, at der blev udviklet særskilte tegningsrutiner for afmærkning, som kunne benyttes sideløbende med den egentlige geometriske projektering.

## Projektering af afmærkning

En anden mulighed var, at man foretog den egentlige projektering som en afmærkningsprojektering, hvor så de egentlig fysiske/geometriske elementer bliver underordnet afmærkningen. Dvs., at kantbaner (stiplede eller fuld optrukne), pile og spærreflader danner grundelementerne, hvorefter asfaltkanter og kantsten bliver fastlagt geometrisk.

Alt for tit støder man på det problem, at dimensioneringen af krydset kommer i konflikt med afmærkningen, fordi der f.eks ikke er taget højde for et slips ved enten venstresvingssporets højre side eller ved højresvingssporets venstre side. En fordel vil også kunne opnås i svært tilgængeligt "terræn". Her tænkes ikke så meget på topografien, men på byområder, hvor huse, eksisterende veje, stier m.m. gør projekteringen til en besværlig og tidskrævende proces, der igen og igen kræver justeringer af de indgående elementer i forhold til hinanden. Hvis man her først valgte at konstruere afmærkningen på vejen, ville man fra denne

indgangsvinkel få et helt andet syn på projektet, og fra starten af kunne undgå fejl.

Denne projekteringsform har været drøftet på de to interviewmøder i amterne. Her syntes man, at det umiddelbart lød som en god ide, men at man egentlig ikke rigtig var villig til at tage dette skridt og forsøge sig med denne meget anderledes måde at projektere et krydspå. Det vurderes, at man kan kombinere den traditionelle måde at projektere et kryds på med en projektering af krydsets afmærkning. Der vil dog givetvis opstå problemer i henhold til vejreglerne, der ikke er udarbejdet på baggrund af en sådan fremgangsmåde.





# B

## Edb-systemet

---

### B1. Valg af edb-grundsystem

Det første valg, der må træffes i forbindelse med udviklingen af et krydsprojekteringsprogram, er det grundlæggende edb-system.

På området edb-systemer er der indenfor de seneste år sket en utrolig udvikling. Flere og flere systemer bliver mere grafisk orienterede, hvilket betyder mere og mere brugervenlige edb-systemer.

De mest fremtrædende computer-leverandører på dette område må siges at være Apple og NeXT - computerne, der med formidabel grafik, og enkle

udviklingsmuligheder (hhv. Supercard og NeXTstep) på hardware siden har et pænt forspring foran konkurrenterne.

Herefter kommer så de Intel-baserede maskiner (PC'ere) med f.eks. Windows, og arbejdsstationer med X-Windows (Unix-baseret Windows) eller MOTIV til UNIX som brugergrænseflade, indenfor de grafiske miljøer.

## **Styresystemet**

I det følgende beskrives kort først de grundlæggende forskelle i systemerne. Disse forskelle ligger i CPU'en, der er forskellig på de nævnte maskiner (og mange andre). Hvor Intel (eller populært pc'erne) kører med en Intelbaseret processor og styresystemet DOS eller OS/2, kører Apple og NeXT på en Motorola-baseret processor med deres eget styresystem (hhv. System 7, eller senere versioner og NeXT systempakken).

En anden vanskelighed ligger i, at disse systemer p.t. ikke taler så godt sammen. For systemudviklerne betyder dette, at der skal udvikles forskellige versioner til hvert enkelt system.

Yderligere optræder der et problem omkring styresystemet, idet især Unix ikke bare er Unix. Der findes en række forskellige Unix-styresystemer, som i den grundlæggende struktur er ens og læner sig op ad en fælles standard. Men et program udviklet på én platform vil simpelthen ikke kunne benyttes på en anden platform med en anden Unix-udgave. Programmerne udvikles og kompileres (oversættes) op imod det enkelte styresystem.

De nyeste skud på stammen er de såkaldte PowerPC og PowerMac, som er maskiner udviklet i fællesskab af Apple og IBM. Disse to maskiner der med deres moderene styresystemer kan emulere snart hvilket som helst styresystem er et godt bud på en fleksibel maskine. Disse er dog for nye, til at de bør vælges nu.

## **Udgangspunkt for valg af edb-system**

Valget af et system er derfor alt andet end let, specielt hvis man ingen forhåndskendskab har til systemer. Udgangspunktet for valg af system ligger primært i de opgaver man ønsker at løse med systemet. Man vælger således ikke en arbejdsstation af mærket Sparc, hvis behovet er at skrive breve. Det sekundære udgangspunkt ligger i udbredelsen af edb-systemet, både hvad angår hardware og software, idet disse som forklaret ovenfor hænger tæt sammen. Af samme årsag har IBM og dens kloner opnået den store udbredelse, de har. Uden tvivl er disse maskiner prisbillige og ydedygtige, men desværre langtfra de mest brugervenlige. Det er helt ude af trit med udviklingen, at man i 90'erne skal ind i DOS's styrefiler for at få forskellige programmer til at køre optimalt. Apple har f.eks. løst dette problem én gang for alle, idet alle programmer kører på samme måde uden problemer (sådan da), og med et nærmest genialt udformet brugerinterface.

## **Vejprojekteringsprogrammernes hardware**

I afhandlingens sammenhæng må udgangspunktet blive, hvilke vejprojekteringssystemer der findes og benyttes i forvejen i Danmark.

I januar 1992 valgte en række af amtsvejvæsenerne, hvilket system, de ville satse på i fremtiden. Det umiddelbare udgangspunkt er således at følge dette valg.

Som ventet er hardwarevalget faldet på en Intel-baseret pc'er med det teknisk forældede DOS-styresystem, fordi DOS-miljøerne er de fremherskende i alle amter, andre offentlige forvaltninger og de fleste erhvervsvirksomheder. Problemet med disse maskiner kan blive kapaciteten. Beregninger indenfor vejprojekteringen, håndtering af store digitale kort og ikke mindst den multidynamiske designmetode kræver en gevaldig stor processorkraft og diskkapacitet.

Erfaringer på dette område fra Norge og Sverige, hvor man i mange år har projekteret på PC'ere, viser at der ingen vanskeligheder er med at arbejde på DOS-maskinerne, som ellers ikke er kendt for nogen styrke på det grafiske område.

Udviklingen indenfor de Intelbaserede maskiner har i 90'erne været så omfattende, at maskinens styrke er hævet op på et niveau svarende til mindre arbejdsstationer. Problemet ligger nu nærmere i tilknytning til styresystemet DOS. Et interessant alternativ er derfor OS/2 vers. 2.1, som på en meget mere effektiv måde benytter 32 bit processoren. Windows NT er et andet alternativ. Denne udnytter 32-bit processoren 100% og giver mulighed for større integration systemerne imellem. Ulempen ved de fine store styresystemer, som netop beskrevet, er deres behov for mange Mb RAM (gerne 16 Mb) og meget harddiskplads (gerne 100 Mb) alene til styresystemet. Om nogle få år vil maskiner af denne størrelse være helt normale, og de nye 32-bit styresystemer vil for alvor komme ud til den almindelige bruger.

Andre vejprogrammer har valgt at bygge på andre platforme. Således er det engelske system MOSS baseret på en Unix-arbejdsstation, og Intergraph med InRoads bygger oprindelig på deres egen Intergraphstation med Clipper-processoren. Begge programleverandører har med årene lagt deres hardware-strategi om. MOSS kan således køre på en række hardware-platforme foruden Sparc, som var den eneste nogle få år tilbage. Intergraph er stoppet med at udvikle sin egen hardwareplatform opbygget på den nævnte clipperprocessor, og er helt gået over til at udvikle i Windows NT - miljø, som understøtter størsteparten af de hardwareplatforme, der eksisterer i verden. Det er forfatterens vurdering, at denne strategi er meget fornuftig, især set i lyset af tidligere valgte strategier.

Intergraph har i en del år uden held forsøgt at komme med en PC-version af deres system 32 (grundssystemet). De fandt for sent ud af, at alle var begyndt at arbejde med PC'er i stedet for med store mainframemaskiner. Dette indebærer, at f.eks. InRoads ikke findes på PC'er. COWI-Consult tog for nogle år siden konsekvensen af dette og udviklede et eget system i PC-udgaven.

Dette program er desværre langt bagefter, hvad man ellers kan finde på det skandinaviske marked og i øvrigt forvente af et godt projekteringssystem. Så vidt vides er COWI helt holdt op med at videreudvikle programsystemet. MOSS har slet ikke forsøgt noget tilsvarende og findes i dag stadigvæk kun på Unix-baserede arbejdsstationer.

I Norge har firmaet ViaNova for nogle år siden udført nogle tests med Sparc-arbejdsstationer i sammenligning med en 386'er PC'er. Det viser sig, at man skal op på nogle af de større Sparc-arbejdsstationer, før man fornemmer en tidsgevinst for disse under programkørslen.

Alt i alt ser det ud til, at PC'ere er et fornuftigt valg, idet disse er en hel del billigere, ikke mindst i drift, sammenlignet med mindre arbejdsstationer, og endnu mere i forhold til det store, forkromede Intergraphsystem.

## **Valg af program/software**

Selvom valget er uheldigt, når vi taler brugervenlighed, faldt valget altså på en PC-DOS. Grundprogrammet er NovaCAD, dvs. det norske vejprojekteringsprogram, som baserer al sin interaktive CAD-projektering på AutoCAD. AutoCAD er verdens mest udbredte CAD-system til PC'er (mere end 40.000 licenser alene i Skandinavien) og anvendes til automatiseret tegningsproduktion indenfor stort set alle brancher. AutoCAD har et udviklermiljø kaldet ADS (AutoCAD Development System<sup>TM</sup>), som baserer sig på et AutoLISP-bibliotek til C-programmeringssproget. AutoLISP er det tidligere (og stadig) benyttede makrosprog i AutoCAD. Makrosprog er ikke en helt korrekt betegnelse, idet der faktisk er tale om et eget programmeringssprog. Med disse værktøjer vil det således være muligt at udvikle et interaktivt værktøj til krydsprojektering.

I næste afsnit er præsenteret den komplette systemkonfiguration, som er benyttet til denne systemudvikling. Denne konfiguration når absolut op på top-professionelt niveau og koster i dec. 1991 priser ca. kr. 80.000,-. Det anvendte Rasterex grafik kort muliggør en meget flexibel grafikhåndtering. Foruden en

meget stor hastighedsforøgelse (øjeblikkelig billedopdatering og real-time panorering) giver kortet også mulighed for håndtering af rasterkort eller billeder.

## B2. Systemkonfiguration

### **HARDWARE:**

---

CPU:	ARIANE, maxtower (IBM-klone) i486, 33 MHz (i 1993 udskiftet til 66MHz) 8 MB RAM 256 kB cache 4 serielle og 2 parallelle porte
GRAFIK:	EIZO Flexscan T560i (17" højopløselig mikroprocessor styret skærm med Triton billedrør) Standard grafikkort: Tseng (1024x768 , 512 kB)  Ekstern grafikkort til AutoCAD: Rasterex (Lazer), 1 MB VRAM (256 farver), 4 MB DRAM, Processor: TMS34010 (50 MHz) og Co-processor: Octopus (RVP 10)
DISK:	Harddisk: 204 MB, Seagate, 15 ms accesstid SCSI-controller Diskdrev: 3½", 1.44 MB
TABLET:	CalComp, Drawing Board II, trådløs, med intelligent konfigurering og musemulering,
MUS:	Genius Mouse (3 knapper) (i 1993 udskiftet til Logitech)

## **SOFTWARE:**

---

**STYRESYSTEM:**

MS-DOS 5.0

skift til MS-DOS 6.2 i 1994

**CAD:**

AutoCAD/386 release 11, 1990

skift til AutoCAD release 12 i 1993

AutoICON ver. 4.2 fra Rasterex, 1992

skift til AutoICON ver. 5.5 i 1993

**COMPILER:**

WatCom C/386 9.0, 1992

Systemudviklingen hos Vianova i Norge bliver udført med bl.a. Watcom C++ som compiler.





# C

## Artikler

---

### C1. Vejprojektering i fremtiden

Udgivet af Dansk Vejtidskrift januar 1992.

### C2. Multidynamisk konstruktion af vejkryds

Udgivet af Dansk Vejtidskrift december 1993.









